

**ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

*DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE*

*CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA  
IN INGEGNERIA DELL'AUTOMAZIONE*

**TESI DI LAUREA**

in

Oleodinamica e Pneumatica

**SPERIMENTAZIONE E MESSA A PUNTO  
DI MACCHINA AUTOMATICA PER MONTAGGIO  
DI GANCI PER VALIGERIA TECNICA :  
MODIFICHE PROGETTUALI E VERIFICHE FUNZIONALI**

CANDIDATO  
Roberto Bianchi

RELATORE:  
Chiar.mo Prof. Giovanni Naldi

CORRELATORI:  
Chiar.mo Prof. Gabriele Vassura  
Ing. Massimiliano Ravagnani

Anno Accademico 2013/14

Sessione III

## **Indice generale**

Introduzione .....	5
1 Quadro generale.....	9
1.1 GT Line S.r.l.....	9
1.1.1 Storia produttiva di GT-Line S.r.l.....	9
1.1.2 La gamma di prodotti GT Line .....	19
1.1.3 Linea "Explorer Cases" .....	19
1.2 Scopo della macchina .....	23
1.2.1 Il gancio di chiusura della valigia .....	23
1.2.2 Specifiche della macchina automatica .....	24
1.2.3 Posizionamento della macchina all'interno della catena produttiva di GT-Line.....	27
1.2.4 Pre-orientamento dei fermi: robot cartesiano	28
2 Il software di controllo della macchina automatica ..	33
2.1 Generalità su Step 7 Microwin .....	33
2.1.1 Linguaggio KOP di Step 7 .....	34
2.1.2 Definizione delle strutture presenti nel software di programmazione Step7.....	37
2.1.3 Utilizzo degli SCR per creare una macchina a stati .....	38
2.1.4 Principali componenti di un progetto scritto attraverso Microwin Step 7 .....	40
2.1.5 Concetto di programma principale e sottoprogrammi.....	42
2.2 Dal ciclogramma al software di controllo della macchina	

automatica .....	43
2.2.1 Il gestore dello stato della macchina: Main .....	46
2.2.2 Ciclo di esecuzione Normale.....	46
2.2.3 Homing .....	50
2.2.4 Sottoprogramma di Hard Recovery .....	51
2.2.5 Sottoprogramma di Soft Recovery .....	52
2.2.6 Programma "Carica Spine" .....	54
2.2.7 Programma "Caricatore" .....	55
2.2.8 Programma "Inserisci Ganci" .....	55
2.2.9 Programma "Posiziona Fermi" .....	56
2.2.10 Programma "Inserisci Spine" .....	57
2.2.11 Programma "Estrai Ganci" .....	58
 3 L'hardware della macchina.....	 59
3.1 Descrizione dei componenti pneumatici e meccanici nel progetto di massima della macchina.....	 60
3.1.1 Telaio.....	61
3.1.2 Gruppo Pinze .....	61
3.1.3 Gruppo di Bloccaggio.....	63
3.1.4 Gruppo Spine .....	64
3.1.5 Gruppo Piantaggio Spine.....	67
3.1.6 Gruppo Slitta di Contrasto Frontale .....	68
3.2 Quadri di comando Pneumatico ed Elettrico.....	69
3.2.1 Sistema Pneumatico di attuazione.....	70
3.2.2 Sistema Elettrico per alimentazione PLC e sensori .....	 76
3.3 Sequenza operativa e ciclo macchina .....	80

3.3.1 Il caricamento delle spine.....	86
3.3.2 L'inserimento dei ganci .....	89
3.3.3 Il posizionamento dei fermi.....	90
3.3.4 L'inserimento delle spine.....	92
3.3.5 L'estrazione dei ganci .....	93
 4 Modifiche funzionali apportate ai componenti.....	 95
4.1 Gruppo pinze .....	96
4.1.1 Software per il controllo del gruppo pinze	100
4.2 Tavola rotante e tamburo.....	101
4.2.1 Modifiche meccaniche effettuate .....	102
4.2.2 Software per il testing della tavola rotante	116
4.3 Cilindro e gruppo inserimento spine .....	116
4.3.1 Modifiche meccaniche.....	117
4.3.2 Software per il test del cilindro pneumatico	119
4.4 Slitta e gruppo di contrasto frontale .....	120
4.4.1 Modifiche meccaniche apportate .....	121
4.4.2 Software per il testing dell'attuatore.....	128
4.5 Telaio.....	128
 5 Conclusioni .....	 133
 6 Bibliografia .....	 137
 7 Ringraziamenti.....	 139



## Introduzione

Già nel 1968, Joseph Froomkin e A.J. Jaffe, parlavano dell'automazione come di un particolare tipo di sviluppo tecnologico, caratterizzato da uno sviluppo della meccanizzazione unito a una serie di invenzioni, caratterizzato sostanzialmente da 3 fattori: il “cambiamento tecnologico”, che influisce sulla produzione del prodotto finale o sul controllo del processo che dà luogo alla produzione; le “invenzioni”, viste come combinazioni di cambiamenti tecnologici considerati come nuove macchine, e la “meccanizzazione”, che aumenta la quantità di produzione per ora di lavoro. Oggi, quasi 50 anni dopo, in un mondo globalizzato la cui parola d'ordine è competitività, l'automazione industriale riveste un ruolo fondamentale non solo nello sviluppo, ma anche nel sostentamento di qualsiasi azienda. Grazie ad essa è possibile difendersi dall'aggressività dei mercati esteri riducendo in primo luogo i costi di produzione dovuti ad un incremento dell'efficienza ed efficacia produttiva. L'automazione inoltre gioca un ruolo fondamentale anche per rendere le imprese e aziende che ne fanno uso vere protagoniste attive nel mercato globale grazie all'elevato apporto tecnologico e innovativo che essa inevitabilmente comporta. Gli obiettivi principali dell'automazione sono infatti quelli di consentire che le macchine progettate possano svolgere in autonomia lavori ripetitivi, sviluppare macchine che possano compiere operazioni che un operatore umano non sarebbe in grado di eseguire per l'eccessiva potenza, precisione o velocità richiesta e sviluppare macchine che eventualmente possano operare in ambienti ostili o pericolosi per l'uomo.

La progettazione e la realizzazione di macchine automatiche risulta un

compito tutt'altro che semplice ed immediato viste le numerose competenze trasversali che si devono possedere in aggiunta ad un background di esperienze e know-how necessari per poter arrivare alla realizzazione di quanto voluto nel rispetto dei vincoli e specifiche di volta in volta richiesti. Non si deve infine dimenticare che in una economia globale, quale quella in cui qualunque impresa o azienda opera, l'aspetto temporale di ideazione, progettazione e produzione della macchina automatica non sono assolutamente di secondo piano rispetto alle caratteristiche tecniche vere e proprie. Il lavoro di progettazione e realizzazione viene certamente coadiuvato e semplificato dagli strumenti informatici quali sistemi CAD (Computer-Aided Design) e sistemi CAM (Computer-Aided Manufacturing) a disposizione dei progettisti, ma sarebbe un grande errore considerare questi mezzi non per quello che sono ma strumenti risolutivi per ogni tipologia di problema. L'aspetto umano nelle fasi di ideazione, progettazione e realizzazione svolge comunque un ruolo centrale per la capacità di introdurre aspetti creativi ed innovativi e per la capacità di predire eventuali problematiche che, risolte successivamente, comporterebbero gravi perdite sia in termini di tempo che in termini economici.

Il lavoro che si andrà a documentare riguarda la lunga fase grazie alla quale un innovativo progetto di una macchina automatica, pensata per rispondere a determinati crismi, passa da una fase di ideazione di massima a quella prototipale, sulla quale poter effettuare test funzionali di varia natura, in condizioni del tutto simili a quelle a cui essa è destinata. Il lavoro ha comportato in primo luogo lo studio di ciò che la macchina avrebbe dovuto fare e dei vincoli a cui essa sarebbe stata soggetta, ed il suo inviluppo ha comportato un pesante lavoro di affinamento dei disegni già presenti, ed in qualche caso anche di totale

riprogettazione di alcune sue componenti, unendo problematiche interdipendenti ma tra loro molto differenti, a partire dall'ideazione di un ambiente software per il corretto testing.

La macchina automatica in questione è stata realizzata per “GT Line” S.r.l., azienda bolognese nata nel 1970 e divenuta in pochi anni la prima realtà industriale italiana nel settore della valigeria tecnica per applicazioni speciali e la prima società europea per gamma di prodotti realizzati. Tali risultati sono stati raggiunti soprattutto grazie al particolare orientamento strategico che ha dato enfasi alla capitalizzazione delle esperienze maturate studiando e risolvendo i problemi della propria clientela, in un contesto di sviluppo tecnologico aziendale che è stato mantenuto sempre più dinamico ed avanzato.

Nello specifico, la macchina implementata ha come obiettivo il montaggio automatico di una tipologia di ganci utilizzati in alcune valigie della gamma produttiva di GT Line. Ripetitività, precisione e accuratezza delle operazioni sono i principali requisiti richiesti al prototipo oggetto dello studio. In generale, il settore della valigeria tecnica è caratterizzato da ricerca tecnologica continua per rispondere a requisiti di robustezza, leggerezza e affidabilità senza per questo venir meno a concetti di design e praticità d'uso. I controlli produttivi e qualitativi del prodotto risultano un aspetto saliente del settore sia per la garanzia di qualità della merce venduta e sia per aspetti certificativi. In quest'ottica, la scelta di orientarsi verso una catena di produzione fortemente automatizzata è certamente rivolta ad ottenere tutti questi risultati, con in più un occhio di riguardo per il contenimento dei costi produttivi. La macchina oggetto dello studio insegue proprio questa filosofia, in quanto è stata progettata per rendere completamente automatizzata una fase della filiera di produzione che attualmente è



interamente manuale.

L' oggetto di codesta esposizione è stato proprio il testing e la riprogettazione di talune componenti del prototipo, in seguito alle particolari problematiche riscontrate in corso d'opera. Verranno pertanto affrontate le principali criticità rilevate, ma soltanto dopo aver inquadrato al meglio il funzionamento della macchina vista come sistema composto da elementi pneumatici, meccanici ed elettronici.

*Nel secondo capitolo verrà dato ampio risalto alla sequenza operativa di funzionamento e alla parte software di controllo, fornendo anche eventuali punti di miglioramento da svilupparsi in futuro.*

*Nel terzo capitolo verranno ampiamente descritte le funzionalità e le caratteristiche della macchina nel suo complesso partendo da una panoramica generale, per poi focalizzare l'attenzione sulle specifiche componenti.*

*Nel quarto capitolo ci si soffermerà in particolare sui risultati dei test, che hanno evidenziato le criticità del progetto iniziale, suggerendo modifiche cui verranno fornite puntuali descrizioni, evidenziando le ragioni che hanno portato a tali scelte e documentando i problemi risolti. In questa fase, poi, si farà una breve disamina delle ulteriori ipotesi prese in considerazione per risolvere i problemi riscontrati, di volta in volta accantonate o riconsiderate, in quanto ritenute non idonee o non rispondenti ai requisiti richiesti. Per ogni componente pneumatico, meccanico ed elettronico oggetto di questa trattazione si fornirà altresì un'ampia descrizione che include la parte software di controllo, sviluppata appositamente per effettuarne il testing specifico.*

*Come fase conclusiva, si procederà infine con un bilancio di quanto fatto nell'insieme e di quali siano i margini di miglioramento in previsione di una eventuale messa in opera.*

# 1. Quadro generale

Per iniziare, occorre evidenziare i concetti del tutto generali di funzionamento e le specifiche che la macchina oggetto dello studio deve soddisfare. Si vuole altresì fornire un quadro del tutto generale in merito alle problematiche che la macchina presenta e come queste siano un obiettivo da risolvere. Tuttavia, come primo passo per arrivare ad inquadrare correttamente lo scopo ultimo della macchina, si procede con una descrizione dell'azienda presso cui essa dovrà operare: GT Line S.r.l. .

## ***1.1 GT-Line S.r.l.***

### ***1.1.1 Storia produttiva di GT-Line***

Nel 1970, Giampaolo Tonelli, attuale presidente, fonda a Crespellano (BO) la GT Line.

Essa nasce inizialmente come falegnameria per la costruzione di casse acustiche per strumenti musicali.

Dopo solo tre anni la proprietà decide di dedicarsi, all'interno del piccolo laboratorio, alla produzione artigianale della prima linea di valigie professionali. Si tratta di valigie in legno per il trasporto di attrezzatura per assistenza tecnica e di relativi accessori.

Uno dei primi grandi clienti di GT Line fu la Philips, per la quale fu realizzato un contenitore in cui i radiatoriparatori potessero raccogliere i pezzi di ricambio e l'attrezzatura necessaria per svolgere l'assistenza a domicilio senza problemi.

Nel corso degli anni, in concomitanza con le esigenze di mercato e lo sviluppo tecnologico specialmente nel settore dell'elettronica che metteva in

commercio prodotti sempre più utili quanto delicati, prosegue la crescita produttiva dell'azienda, e con l'acquisto della prima macchina per lo stampaggio della plastica inizia la sua produzione a livello industriale.

Grazie all'ingresso in azienda di un Responsabile Amministrativo (1985), diventa possibile dedicare molto più tempo ed energie allo studio e alla realizzazione di nuovi prodotti, e nel giro di pochi anni l'Azienda registra da una parte una forte crescita a livello di risorse umane e dall'altra parte adotta una nuova strategia commerciale volta alla promozione dei propri prodotti anche all'estero.

GRTRE è il nome che viene dato al primo modello standard di prodotto; si tratta di una valigetta di piccole dimensioni con appositi pannelli per gli utensili da lavoro ed altri per gli accessori di ricambio. Nel corso degli anni questo prodotto è stato più volte rinnovato ed ha subito un processo di reingegnerizzazione; tutto ciò ha permesso di migliorare le caratteristiche di robustezza, qualità, leggerezza e versatilità e realizzare l'ottimizzazione del processo produttivo con il quale è possibile ottenere valigie su misura. Oggi, grazie all'utilizzo di un processo tecnologico più evoluto rispetto al passato, si ha un prodotto più resistente, infatti, attualmente la valigia viene realizzata con pannelli di legno compensato a tre strati di 6 mm ricoperto di materiale plastico (sia internamente che esternamente) e con gli angoli e gli spigoli realizzati con profilati in alluminio o in acciaio. Il processo di creazione di questa valigia è estremamente semplificato e permette di realizzare un prodotto con elevato rapporto qualità/prezzo in base alle dimensioni e alle specifiche richieste dal cliente.

L'azienda nella sua crescita ha sempre posto l'attenzione sia alle esigenze del mercato che a soddisfare le aspettative dei propri clienti, creando così prodotti in grado di distinguersi dagli altri per i materiali, per le tipologie realizzate, per le caratteristiche tecnologiche, per l'affidabilità e per il design.

La GT Line ha investito molto nella ricerca riuscendo a sviluppare una nuova tecnica di lavorazione, di sua esclusiva proprietà, che permette l'utilizzo di macchine automatiche appositamente progettate per valigie in lega leggera d'alluminio, e che ha portato l'azienda ad aumentare sempre più la sua capacità produttiva, grazie ad un processo tecnologico versatile e semplice tale da distinguersi sul mercato.

Il ciclo tecnologico è caratterizzato dalla realizzazione dei pannelli per le facciate in alluminio che derivano da una lastra di alluminio anodizzato di vari spessori (10/10 mm, 12/10 mm, ecc) attraverso appositi processi, invece la realizzazione della fascia periferica centrale del prodotto che costituirà il corpo valigia, viene realizzata in alluminio anticorrosione profilato.

Il ciclo di lavorazione è molto semplificato ma contemporaneamente è assolutamente funzionale, inoltre le lavorazioni eseguite sono realizzate senza richiedere asportazione di truciolo o l'utilizzo di sostanze nocive. I macchinari progettati presentano un alto grado di versatilità, fattore importantissimo che consente all'azienda di realizzare un'ampia operazione di differenziazione attraverso l'impiego di macchine per le diverse tipologie di prodotto. Si è in grado di realizzare valigie robuste, in alluminio, caratterizzate da un'elevata resistenza e da un peso contenuto. Nel tempo questo processo è stato migliorato con un maggiore utilizzo dell'alluminio per la realizzazione dei prodotti consentendo un ulteriore ampliamento della gamma: sono state studiate e realizzate valigie in alluminio con le facciate realizzate mediante le più moderne tecnologie per le operazioni di stampaggio a freddo, caratterizzate da ottime caratteristiche meccaniche che ne migliorano l'affidabilità e le prestazioni, permettendo di realizzare un prodotto che offre un elevato grado di protezione.

A seguito di ulteriori studi e della progettazione di nuovi prodotti, l'azienda ha sviluppato valigie in materiale plastico e in materiale metallico adottando

ulteriori processi di produzione. Si è dedicato molto lavoro nella scelta dei materiali e delle metodologie di lavorazione e alla fine sono stati adottati i più affidabili metodi di lavorazione delle materie plastiche ed è stata mantenuta una costante attenzione all'aggiornamento dei processi impiegati e alla loro qualità. L'azienda è riuscita a garantire sia un evidente miglioramento dal punto di vista produttivo che un notevole incremento degli standard qualitativi dei prodotti e dei processi.

La forte crescita dell'azienda è stata determinata dall'impiego oltre che dalle più recenti tecnologie per la lavorazione delle materie plastiche, anche dall'utilizzo delle tecniche di stampaggio a soffiaggio, attraverso l'uso di macchine completamente automatiche per la realizzazione del prodotto.

Si è cercato, con l'utilizzo di questa tecnica e in base ad un'adequata scelta del materiale impiegato, dove il materiale è soggetto ad una carica con additivi particolari, di individuare caratteristiche e prestazioni migliori di quelle presenti nei prodotti in alluminio.

Durante il processo viene iniettata aria ad alta pressione che fa aderire il materiale allo stampo permettendo la formatura di un manufatto cavo al suo interno; a fine processo viene estratto il prodotto dagli stampi e vengono eliminati gli sfridi. Nel soffiaggio dei corpi cavi l'estrusore viene impiegato per la produzione di parison tubolari; questi vengono schiacciati fra due metà mobili di uno stampo per soffiaggio e compressi alla parete interna dello stampo stesso con una pressione d'aria da 5 a 10 bar. L'aria compressa viene addotta mediante un ugello di soffiaggio che serve contemporaneamente per la calibratura della bocca del corpo cavo. Lo spessore della parete del parison può essere adattata in modo continuativo durante il processo; questa tecnologia è oggi arrivata ad uno stadio di progresso così avanzato che possono essere prodotti in grande serie corpi cavi anche estremamente complessi come i serbatoi carburante per vetture. La tecnica del soffiaggio

offre il vantaggio di produrre articoli plastici a doppia parete che consentono di creare un'intercapedine d'aria tra i due strati di materiale che garantisce alla valigia un'elevata resistenza. Innumerevoli sono i vantaggi e si evidenzia sia l'elevata velocità realizzativa in breve tempo, sia la facilità per estrarre il prodotto dagli stampi ed infine le buone caratteristiche del prodotto. Attraverso questa tecnica si realizzano valigie in grado di resistere alle varie sollecitazioni, adatte per lavorare in condizioni gravose e per resistere alle diverse esasperate condizioni d'uso. Questa tecnica, inoltre, al fine di ottenere prodotti altamente affidabili, è stata impiegata utilizzando come materiale plastico del polietilene ad alta densità, caratterizzato da un'altissima resistenza alle alte e basse temperature ed agli agenti chimici.

Un'altra parte della produzione dell'azienda è caratterizzata dall'impiego di processi di termoformatura sottovuoto del corpo valigia con impiego di materiali altamente resistenti ed infrangibili come l'HIT (High Impact Termoplastic).

Questo processo automatico si avvale dell'uso di appositi robot. Le macchine utilizzate per tale processo sono altamente produttive ed inoltre il costo degli stampi risulta il 20% di quello degli stampi ad iniezione analoghi. Con un riscaldamento da ambo i lati possono essere condizionate lastre sino a circa 10 mm di spessore pronte per la formatura. Uno dei più grandi vantaggi che questo processo è in grado di offrire consiste nella capacità di produrre, in breve tempo, pezzi complessi e di grosso spessore, con elevata precisione e con cicli di lavoro con tempi ristretti ed inoltre la sua versatilità permette che la stessa macchina sia impiegata per prodotti diversi cambiando lo stampo utilizzato.

Di estrema importanza risulta la realizzazione dello stampo, infatti, gli stampi insieme alla macchina rappresentano i componenti decisivi per la creazione di manufatti soffiati e, per questo motivo, particolare attenzione si

pone alla scelta dei materiali e alla finitura superficiale. I materiali più adatti per la loro costruzione sono in generale acciai speciali, a causa delle pressioni negli stampi. Quindi, lo stampo deve avere non soltanto resistenza meccanica ma soprattutto una sufficiente rigidità.

Per il soffiaggio di corpi cavi vengono adottati, appositi stampi colati in leghe di zinco oppure vengono utilizzati getti di metallo leggero per la loro superficie porosa. Si utilizzano leghe di rame con cobalto o berillio, che sono buone conduttrici di calore, sia per gli ugelli a canali caldi sia per parti di stampi che devono essere raffreddati intensamente.

Sul mercato sono presenti una grande varietà di materiali polimerici, le cui caratteristiche spaziano in ambito molto vasto, pertanto, l'azienda, è sempre attenta alla scelta e al rinnovamento delle tecnologie impiegate.

L'ufficio tecnico è sempre volto all'aggiornamento sia nella fase di progettazione sia nella scelta delle tecnologie e dei materiali per un nuovo prodotto e prende in considerazione tutti quei parametri che contribuiscono alla realizzazione di un buon progetto che si adegui alle aspettative ed alle esigenze del mercato. Lo studio, la progettazione, la verifica nei minimi dettagli di ogni componente, la scelta e la personalizzazione dei materiali e dei processi di produzione devono portare alla creazione finale di un prodotto finito privo di difetti e capace di soddisfare le esigenze funzionali più spinte.

GT Line mette in atto tutto ciò al fine di ottenere l'ottimizzazione dei processi di produzione, contribuendo a risparmiare fasi produttive e perciò costi di produzione, ed un impiego delle materie plastiche consono alle problematiche ed alle esigenze specifiche del prodotto.

Questo insieme di fattori ricopre un ruolo di fondamentale importanza poiché la valigia tecnica è un prodotto destinato ad impieghi speciali, spesso particolarmente gravosi, e deve essere progettata e realizzata ricercando la presenza di caratteristiche tecnologiche e funzionali precise. Determinate

caratteristiche meccaniche, una resistenza elevata all'usura e all'aggressione di diverse sostanze ed un alto grado di affidabilità nelle prestazioni, possono essere ottenute solamente mettendo in opera adeguate metodologie di lavorazione. Allo stato attuale, le aziende presenti sul mercato fanno uso massiccio delle tecnologie elementari di lavorazione della plastica impiegando un numero ridotto di materie plastiche rispetto a quelli presenti sul mercato, mentre utilizzano in maniera limitata o nulla i materiali metallici. Questi fattori limitano notevolmente le possibilità applicative della produzione e allo stesso tempo si possono ripercuotere in maniera negativa sulla qualità e sulle caratteristiche tecnologiche dei prodotti realizzati.

È ovvio che utilizzando tecnologie inadeguate o materiali non adatti per quel tipo di prodotto si contribuisce alla realizzazione di un prodotto di scarsa qualità e pertanto destinato a durare poco nel tempo. Allo stato attuale tutte le aziende del settore presentano una produzione di gamme poco articolate, in quanto realizzano prodotti che possono avere un largo impiego utilizzando un numero ridotto di materiali come il legno, l'alluminio e le comuni materie plastiche di larga diffusione attraverso i principali processi produttivi di largo impiego. Al contrario al fine di realizzare un buon prodotto è importante fare un buon lavoro di ricerca e progettazione, anche perché i clienti hanno sempre più alte esigenze e i prodotti realizzati sono diventati più complessi, vengono progettati in più varianti e, nonostante ciò, i tempi a disposizione dei progettisti si riducono continuamente. Il lavoro del settore ricerca e sviluppo, l'adozione delle più adeguate soluzioni tecnologiche e la buona conoscenza dei mercati contribuiscono alla scelta e all'evoluzione di tutti i processi produttivi e preproduttivi favorendo un deciso abbattimento dei tempi di sviluppo senza intervenire sull'aspetto qualitativo dei prodotti, in quanto il time to market non può essere compresso eliminando le fasi importanti quali la verifica di progetto e i test funzionali, essenziali per



garantire l'efficienza e la qualità del prodotto.

GT Line, grazie alla sua esperienza nel settore, alla sua grande flessibilità e ai continui investimenti nel campo della ricerca, ha realizzato un'ampia gamma di prodotti ed è divenuta leader nel mercato nazionale ed ha acquistato un'importante fetta del mercato europeo. GT Line nella sua produzione vanta oltre alla tradizionale portautensili altre linee di prodotto quali le valigie per il trasporto di notebook computer, valigie e soluzioni ergonomiche per il settore della cosmetica e hair dressing, valigie per il settore medico del pronto soccorso, valigie per il settore fotografico, ed una gamma di valigie per il settore industriale, ovvero per il trasporto di apparecchiature elettroniche e strumenti di misura. L'azienda continua la sua espansione verso un mercato mondiale, con l'obiettivo di ampliare il proprio settore di azione, divenendo sempre più competitiva e flessibile, ed oggi la GT Line opera con una fitta rete di partners, distributori e consociate sia sul mercato europeo, che su quelli asiatico e americano.

La gamma di prodotti porta utensili GT Line è riconosciuta tra le più ampie del mondo ed è con certezza la più vasta sul mercato Europeo.

Il continuo lavoro svolto nella ricerca e nella progettazione hanno permesso all'azienda di realizzare un continuo processo d'innovazione, garantendo sui propri prodotti un livello di prestazioni elevato e costante nel tempo.

In base alla continua attenzione rivolta alle sempre più particolari richieste del mercato e alla pluriennale esperienza maturata nel settore, GT Line ha studiato e progettato una particolare valigia-contenitore ad alta resistenza ed a completa tenuta stagna che metterà in gioco particolari caratteristiche strutturali. Le innovazioni che verranno introdotte permetteranno di realizzare un prodotto assolutamente nuovo, capace di soddisfare le esigenze più spinte della clientela, garantendo elevati standard di qualità ed elevate prestazioni e consentendo all'azienda di ampliare il proprio mercato in

ambito nazionale ed internazionale.

La valigia tecnica è un contenitore che può avere diverse forme e dimensioni e che viene impiegato nei più svariati settori ed in applicazioni sempre più differenziate (settore fotografico, valigie portautensili, trasporto di notebook computer, ecc...) ed è quindi progettato per essere in grado di assolvere lavori e compiti specifici. Il ruolo svolto dal prodotto nel corso degli anni ha subito una grande evoluzione, passando da semplice oggetto per il trasporto di beni ed accessori a prodotto dettagliatamente progettato e dimensionato per soddisfare specifiche esigenze, assolvere compiti precisi e coadiuvare e facilitare il lavoro degli operatori. La valigia tecnica deve possedere alcune caratteristiche fondamentali che sono:

- Facilità dello svolgimento di particolari lavori per i quali è stata progettata (assistenza tecnica, funzioni medicali, ecc);
- Assicurazione del trasporto mantenendo condizioni di assoluta integrità per gli oggetti per i quali è stata dimensionata;
- presenza di un elevato grado di protezione dagli agenti esterni;
- presenza di dimensionamenti ed alloggiamenti interni appositamente realizzati per lo svolgimento di compiti precisi;
- presenza di caratteristiche tecnologiche particolari quali resistenza e robustezza;
- ridotte dimensioni di ingombro;
- peso ridotto per facilitare le condizioni di trasporto;
- impiego di materiali ad elevata resistenza per avere un prodotto con una vita media elevata.

Nella realizzazione dei prodotti vengono utilizzati metalli e materie plastiche di diverso tipo che presentano caratteristiche tecnologiche differenti: la scelta

dei materiali da utilizzare, la forma e le dimensioni del prodotto e la definizione della sua struttura organizzativa interna dipendono dalle particolari esigenze di lavoro cui è destinato e dalle caratteristiche tecniche che devono essere rispettate. Il settore della valigeria tecnica è sempre più competitivo ed in continua trasformazione per le continue e differenziate necessità applicative dei committenti, che richiedono in modo sempre più dettagliato la realizzazione di prodotti molto specializzati, caratterizzati da particolari specifiche e dotati di un elevato livello qualitativo.

Attualmente la produzione della GT Line si divide in valigeria standard e non standard.

Rientrano all'interno della produzione di valigie standard le numerose tipologie di valigie da lavoro progettate e realizzate secondo dimensioni e processi standardizzati e adatte ad essere impiegate in settori specifici (valigeria tecnica per i diversi settori, valigie multiuso altamente versatili, cioè adattabili ad impieghi universali, ecc.).

La valigeria non standard, invece, raccoglie un insieme di valigie studiate appositamente per essere realizzate su misura per soddisfare le esigenze del cliente: i prodotti possono essere dimensionati e personalizzati internamente ed esternamente, nel rispetto delle specifiche del committente, mediante un processo produttivo estremamente versatile. Grazie alle tecnologie specifiche, la produzione consta di svariate linee di prodotto che sono state sviluppate nel corso degli anni di attività. Si realizzano pertanto valigie in materiali plastici (ABS, polipropilene, polietilene, ecc...), in alluminio, cuoio e materiali compositi.

### ***1.1.2 La gamma di prodotti di GT-Line***

GT Line, ha affiancato alla tradizionale porta utensili professionale, altre e diverse linee e tipologie di prodotto:

- Work Line, economica, ma affidabile linea di valigie e borse per il semi-professionista, l'hobbista, l'appassionato del “fai da te”;
- Top Work Line, recente innovazione della linea Work Line;
- Hand Multimedia, rivoluzionaria ed elegante linea di valigie e borse per il trasporto di computer portatili e accessori multimediali;
- Hand Photo, pensata per il settore fotografico;
- Explight, linea che comprende torce professionali.
- Explorer Cases è l'ultimo “prodotto di casa GT Line”.

### ***1.1.3 Linea Explorer Cases***

Si tratta di una linea di valigie per impieghi estremamente gravosi, come quelli militari; grazie alla specifica ricetta del materiale plastico utilizzato, della quale non si forniranno ulteriori dettagli, esse possono vantare la più elevata resistenza agli urti e all'aggressione di sostanze corrosive, oltre ad una perfetta tenuta stagna con un grado di protezione IP67 o superiore, in qualsiasi condizione di lavoro. In fig.1 è mostrato uno di questi prodotti, che al momento costituiscono la soluzione migliore per rispondere alle richieste dei più esigenti utilizzatori e delle più estreme applicazioni: nel settore nautico come in quello dell'aeronautica, per il trasporto di armamenti, apparecchiature elettroniche, mediche o militari, o per la protezione di sofisticate attrezzature fotografiche ed il sicuro alloggiamento di

equipaggiamenti tecnici e sportivi di qualsiasi tipo, dimensione, e forma geometrica.



*Figura 1: Due modelli di valigie della serie Explorer cases, rispettivamente per operazioni polari (a sinistra) e militari (a destra)*

Il corpo valigia in resina plastica ad alto spessore, è caratterizzato da una eccezionale resistenza agli urti, alle sostanze corrosive, all'acqua, alle polveri e agli agenti atmosferici in genere. La guarnizione a sigillo in EPDM e la valvola di pressurizzazione garantiscono un rapido assestamento della pressione interna nel caso di repentine variazioni di altitudine o di temperatura. Le valigie della serie Explorer Cases sono aggressive nella linea ed affidabili nelle prestazioni: anche gli strumenti più sofisticati e costosi possono essere custoditi con tranquillità all'interno di queste vere e proprie "fortezze da viaggio", perché GT Line sa quanto sia importante, per chi viaggia in condizioni estreme e magari fa di questo viaggiare il proprio

lavoro, la sicurezza di non trovare il computer completamente immerso nell'acqua o la telecamera ricoperta di quel sottile e fastidiosissimo strato di sabbia del deserto.

Realizzate in diversi formati, le Explorer Cases sono disponibili in tre colori standard (arancio, verde e nero) e possiedono svariate possibilità di configurazione e personalizzazione degli interni: con spugna pre-cubettata che permette di creare sicuri alloggiamenti su misura per qualsiasi tipo di oggetto da contenere, oppure con fondo vuoto, predisposto per un facile fissaggio di speciali supporti laterali che consentono l'inserimento di pannelli per attrezzature o strumenti. Su richiesta è inoltre possibile realizzare colori ed interni personalizzati.

Le Explorer Cases, espressamente progettate per il settore militare, soddisfano completamente i seguenti requisiti tecnici:

- impilabili;
- completamente impermeabili;
- corpo di elevato spessore;
- resistenti alla maggior parte degli agenti corrosivi;
- ermetiche;
- a prova di sabbia e di qualsiasi polvere;
- estremamente resistenti agli urti;
- a prova di schiacciamento;
- temperature di utilizzo comprese tra almeno -33° C e +90° C.

Tra le caratteristiche speciali, disponibili a seconda del modello in questione, si possono inoltre ricordare:

- coperchio rimovibile ;
- sostegno anti-ribaltamento;
- maniglia in gomma;
- tracolla opzionale;
- compatibilità al trasporto di un PC;
- manico telescopico ad estrazione facilitata;
- trasportabili da due persone;
- maniglie laterali;
- maniglie laterali e maniglione centrale ;
- maniglia telescopica autobloccante;
- ruote autolubrificanti, su cuscinetti a sfera;
- maniglione con molla di ritorno.

Le Explorer Cases sono state sottoposte a severi test di laboratorio per garantire la loro affidabilità e la loro resistenza di fronte alle più estreme condizioni d'uso e testare la loro conformità nel pieno rispetto delle norme standard di sicurezza (IP67 Resistenza alle polveri e ai liquidi, Defence Standard 81-41 part 3 issue 4, STANAG 4280 ed. 2, Conformità con le Direttive 2002/95/EC).

Sono disponibili inoltre una serie di borse imbottite multifunzione rimovibili e modulari, dotati di manici per un facile trasporto, di divisori interni regolabili e di pannelli con comode tasche da posizionare nel coperchio. Indispensabili per proteggere e trasportare delicati equipaggiamenti, questi accessori offrono la possibilità di realizzare svariate configurazioni.

Infine è prodotto anche un sistema di trasporto a spalla (come se fosse uno

zaino), realizzato in tessuto resistente allo strappo e pensato per un comodo trasporto a mani libere grazie agli spallacci imbottiti e regolabili. Sono disponibili due dimensioni: Backpack L e Backpack M .

La gamma completa di valigie Explorer può essere suddiviso in tre segmenti:

- Valigie grandi
- Valigie medie
- Valigie piccole

## ***1.2 Scopo della macchina***

La macchina automatica oggetto di questo studio ha l'obiettivo di assemblare i ganci di chiusura utilizzati nella serie di valigie per applicazioni speciali “Explorer Cases” di GT-Line.

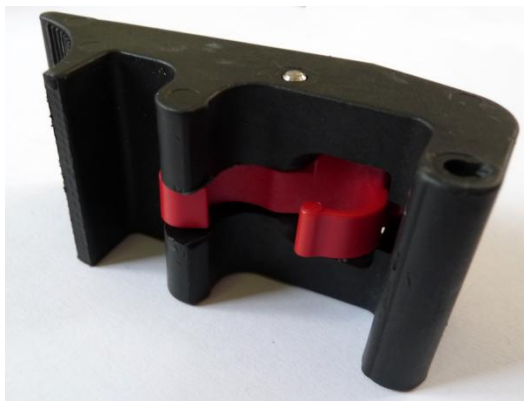
### ***1.2.1 Il gancio di chiusura della valigeria speciale Explorer***

Il gancio di chiusura della valigia Explorer è specificatamente progettato per evitare l'apertura non intenzionale della stessa. Per arrivare a questo risultato, esso è costituito da più parti, tra le quali un corpo, di colore nero, che si fa carico delle forze dovute alla chiusura della valigia, un pulsante di “fermo” di sicurezza inserito al suo interno, che ha il compito di assicurarne l'effettiva chiusura, escludendo l'involontaria apertura ed un perno. Per poter aprire il gancio di chiusura, e quindi la valigia, è necessario dapprima sbloccare il fermo di sicurezza tramite pressione su un pulsante solidale con il fermo stesso come visibile dalle figure 2 e 3.





*Figura 2: Vista del gancio di chiusura e del pulsante di sblocco del fermo di sicurezza*

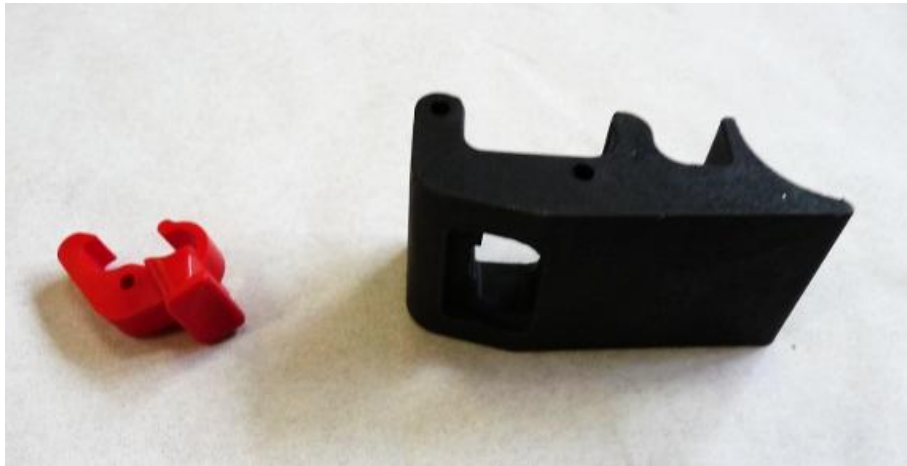


*Figura 3: Vista del corpo del gancio di chiusura (in nero) e del fermo di sicurezza (in rosso)*

### ***1.2.2 Specifiche della macchina automatica***

Il risultato finale che si vuole ottenere è il montaggio completo ed accurato del gancio di chiusura della valigia in tutte le sue componenti. Il compito consiste nell'assemblare nel modo corretto il corpo del gancio, il fermo interno di sicurezza e la spina metallica che li fissa uno con l'altro. Il gancio e il fermo sono costruiti in materiale plastico derivato dal polietilene e in resina

acetalica (POM) tramite una pressa di stampaggio ad iniezione per materie plastiche (figura 4), mentre le spine sono in metallo (figura 5). Per avere un prodotto finito rispondente alle specifiche si vuole ottenere quanto raffigurato nelle figure 1 e 2 dove il fermo risulta opportunamente inserito all'interno del gancio e fissato per mezzo della spina.



*Figura 4: Vista dei singoli componenti da assemblare dove a sinistra in colore rosso è raffigurato il fermo e a destra in colore nero vi è il gancio*



*Figura 5: Vista delle spine metalliche*

La metodologia corretta di assemblaggio, al momento effettuata manualmente, consiste almeno in 3 fasi:

1. afferramento del corpo del gancio;
2. posizionamento del fermo all'interno del gancio nell'idonea sede;
3. inserimento della spina metallica nell'apposito alloggiamento

In aggiunta a questa sequenza di operazioni si deve considerare però la metodologia di produzione dei ganci e dei fermi di sicurezza tramite la tecnica di stampaggio “a soffiaggio”.

Si noti, a tal proposito, come i prodotti in uscita dalla pressa risultino caratterizzati da un orientamento ben preciso e dalla presenza di sfridi tipici della fase di stampaggio, motivo per cui un'ulteriore richiesta è stata la possibilità di utilizzare direttamente i ganci e i fermi orientati così come risultano in uscita dalla pressa di stampaggio, senza la necessità di ulteriori interventi.

In via riassuntiva, la totalità delle specifiche su cui l'intero progetto è stato impostato possono essere così riassunte:

- la macchina di montaggio deve sfruttare l'orientamento delle parti in materiale plastico presente durante il processo di stampaggio, il che significa avere come input una disposizione spaziale delle parti stesse corrispondente al posizionamento relativo delle parti all'interno dello stampo;
- deve sfruttare il più possibile le funzionalità di manipolazione già esistenti a bordo macchina, ed in particolare la disponibilità di un organo di prelevamento pezzi già sviluppato, costruito e collaudato;

- deve essere compatibile con i ritmi operativi della pressa di stampaggio, in grado di fornire i pezzi occorrenti per quattro ganci in un tempo di circa cinquanta secondi;
- deve essere sufficientemente compatta da risultare installabile in prossimità della pressa di iniezione in modo da potere essere servita dal robot cartesiano già presente;
- deve risultare tecnologicamente semplice ed affidabile oltre ad essere economicamente compatibile: per questa ragione si è ipotizzato di puntare sulla utilizzazione di tecniche di attuazione pneumatica omogenee all'organo di prelevamento già esistente e di ricorrere il più possibile a subfornitura commerciale, limitando al minimo il numero delle parti a disegno;
- *per quanto riguarda le funzioni di rifornimento periodico del materiale di consumo* (ovvero le spine metalliche), si richiede che le operazioni possano essere ergonomicamente semplici e veloci.

### ***1.2.3 La macchina all'interno della catena produttiva di GT Line***

Le specifiche sopraelencate sono dovute, in primo luogo, al posizionamento della macchina automatica all'interno della catena produttiva del prodotto finito. Escludendo tutti i passaggi dovuti alle movimentazioni dei vari componenti e assemblati parziali, le varie fasi di produzione di una singola valigia possono essere riassunte molto schematicamente in:

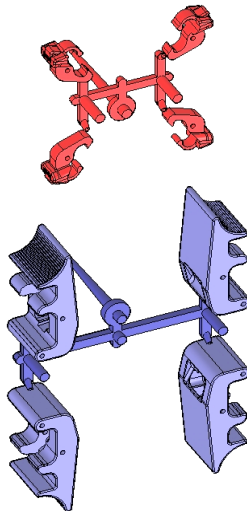
1. stampaggio delle componenti necessarie in materiale plastico tramite le presse di stampaggio ad iniezione plastica (ganci, fermi e corpo della valigia)

2. assemblaggio dei ganci
3. assemblaggio della valigia in tutte le sue componenti (maniglia, ganci, valvola, ecc..)
4. controlli qualitativi sul prodotto finito

Il montaggio dei ganci deve essere posto nelle immediate vicinanze delle presse di stampaggio ad iniezione e può quindi (e anzi secondo le specifiche deve) sfruttare il robot cartesiano di prelevamento pezzi per una corretta movimentazione di tali componenti.

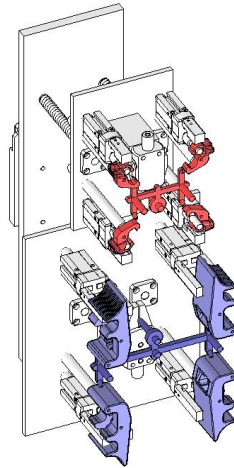
#### ***1.2.4 Pre-orientamento dei fermi: ruolo del robot cartesiano***

In figura 7 sono rappresentati i fermi e i ganci come risultano essere disposti in uscita alla pressa di iniezione. Vi è da notare la presenza delle materozze che il robot cartesiano è in grado di staccare ed eliminare in modo autonomo durante il trasferimento dei pezzi dall'uscita dalla pressa e la macchina automatica di assemblaggio dei ganci in studio.

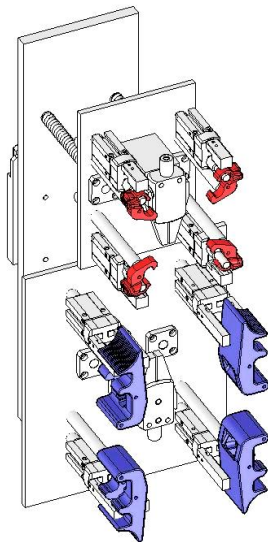


*Figura 6: Fermi in rosso e ganci in blu in uscita dalla pressa di stampaggio*

Nelle figure 7 e 8 sono proprio raffigurati gli istanti in cui il robot ha appena afferrato i fermi e ganci dalla pressa in cui sono ancora presenti le materozze e quando invece si appresta a depositarli all'interno della macchina automatica di assemblaggio dei ganci in cui le materozze sono state eliminate.

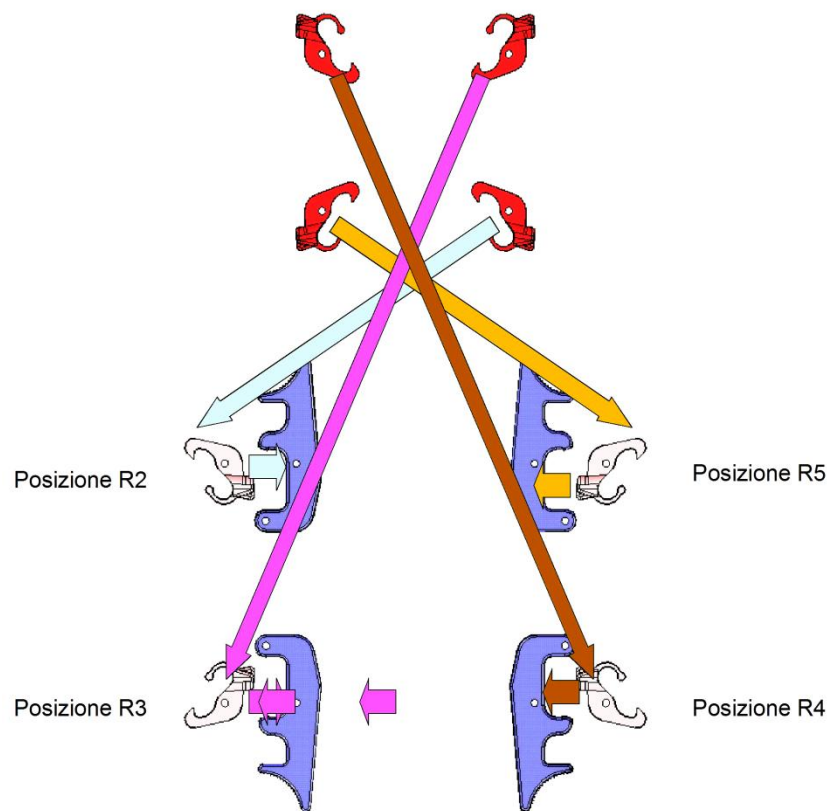


*Figura 7: Organo di presa del robot cartesiano con i ganci e fermi ancora con le materozze*



*Figura 8: Organo di presa del robot cartesiano con ganci e fermi in cui sono state eliminate le materozze*

Sempre grazie all'utilizzo del robot e ad una procedura di traslazione dei fermi è possibile utilizzare i ganci e i fermi con la stessa disposizione spaziale e orientamento con cui essi escono dalla pressa di stampaggio. La disposizione finale dei fermi e dei ganci sul robot cartesiano risulta quella appena vista nella figura 8. La procedura per poter effettuare un corretto abbinamento e orientamento dei fermi all'interno dei vani dei ganci consiste nel tenere bloccati i ganci così come risultano orientati sullo stampo e successivamente semplicemente traslare singolarmente i fermi come indicato in figura 9 tramite il robot cartesiano senza la necessità di dover effettuare rotazioni.



*Figura 9: Disposizione e traslazione da parte del robot cartesiano dei fermi per avere la corretta corrispondenza gancio-fermo*

La sequenza logica di posizionamento e abbinamento singolo gancio - singolo fermo risultano quindi essere:

1. il robot cartesiano deposita contemporaneamente i quattro ganci nella macchina automatica dove vengono afferrati e mantenuti bloccati orientati così come risultano dagli stampi;
2. sempre il robot cartesiano effettua le opportune traslazioni diagonali viste in figura 9 depositando nella macchina automatica un fermo alla volta;
3. la macchina automatica deve gestire il movimento orizzontale di posizionamento dei fermi all'interno dei ganci potendo inserirli tutti e quattro in parallelo tramite una unica movimentazione.

Una volta effettuate tutte queste operazioni logiche, il fermo è considerarsi a tutti gli effetti già nella posizione idonea all'interno del vano del gancio, in attesa del piantaggio della spina. Avvenuta l'operazione di inserimento della spina, un robot cartesiano dovrà infine gestire la successiva fase di estrazione dei prodotti finiti, ovvero i ganci appena assemblati. Questi vengono infatti estratti dalla macchina automatica e posizionati negli opportuni nastri trasportatori per arrivare tramite le necessarie movimentazioni alla postazione di assemblaggio dell'intera valigia.





## 2. Il software di controllo della macchina automatica

Al fine di eseguire i test sulla macchina automatica, oltre alle modifiche progettuali meccaniche di cui si parlerà nei prossimi capitoli, una fase importante dell'opera di implementazione della macchina è stata la scrittura del suo software di controllo.

Nei capitoli precedenti è già stata descritta la sequenza-base a cui la macchina fa riferimento, ma l'obiettivo che ci si pone in questo capitolo è un'analisi approfondita del ciclo macchina e del relativo codice, cercando di evidenziarne i punti salienti della effettiva implementazione su microcontrollore Siemens S7-200 con CPU 224.

### *2.1 Generalità su Step 7 Microwin*

L'ambiente canonico di sviluppo software per la famiglia di microcontrollori S7-200 è Step7 Microwin. Questo software permette di realizzare con facilità automazioni anche complesse, in quanto le parti di programma più ridondanti vengono implementate in automatico.

La versione utilizzata per scrivere il codice esportato nel PLC della macchina automatica è la V4.0, che supporta esclusivamente tre linguaggi di programmazione:

- KOP: un linguaggio grafico equivalente al LADDER (LD) previsto dalla norma IEC 61131-3;
- AWL: linguaggio testuale sviluppato dalla Siemens non compreso

nella norma IEC 61131-3 e composto da istruzioni di basso livello che consentono di avere il controllo completo del PLC, ma che richiedono al programmatore una conoscenza specifica delle istruzioni;

- FUP: del tutto simile al linguaggio grafico Function Block Diagram (FBD) della norma IEC 61131-3;

Per coerenza con l'ambiente di sviluppo precedentemente utilizzato, il linguaggio di programmazione utilizzato è il KOP.

### ***2.1.1 Linguaggio KOP e Microwin Step 7***

Il linguaggio KOP o Ladder è nato alla fine degli anni '60 e appartiene ai linguaggi standardizzati presenti nella terza parte della norma IEC 61131 assieme al Function Block Diagram (FBD), allo Structured Text (ST), all'Instruction List (IL) e al Sequential Function Chart (SFC). Esso si basa su una logica affine a quella di uno schema elettromeccanico in quanto i suoi elementi-base sono relè virtuali. È un linguaggio molto diffuso che ha come caratteristica fondamentale il fatto di avere una veste esclusivamente grafica. Nello standard Ladder, sono sempre presenti due particolari elementi: la barra di alimentazione positiva e la barra di alimentazione negativa. Questi due oggetti sono presenti rispettivamente sulla sinistra (+) e sulla destra (-) del progetto come se si stesse lavorando con relè reali. I programmi KOP simulano infatti il flusso della corrente elettrica che proviene da una sorgente e attraversa una serie di condizioni logiche di ingresso, che a loro volta abilitano condizioni logiche di uscita. I contatti chiusi consentono il passaggio della corrente all'elemento successivo, mentre i contatti aperti la bloccano. La logica è suddivisa in segmenti. Il programma viene eseguito un

segmento per volta, da sinistra a destra e dall'alto verso il basso. Le operazioni sono rappresentate mediante segni grafici e sono di tre tipi principali:

- i contatti che rappresentano le condizioni logiche di ingresso;
- le bobine che solitamente rappresentano i risultati logici di uscita o condizioni interne di uscita;
- i box che rappresentano tutte le altre operazioni quali i temporizzatori, i contatori e le operazioni matematiche.

Le variabili logiche di ingresso presenti nei contatti possono essere sia le variabili vere e proprio degli ingressi del PLC contraddistinte dalla lettera I o possono anche essere variabili interne, locali o merker. Si contraddistinguono in primo luogo in due grandi categorie: normalmente aperti e normalmente chiusi a seconda del loro comportamento a fronte del valore vero della variabile a cui fanno riferimento.

Le bobine implementano l'operazione di assegnamento: scrivono il nuovo valore della variabile di uscita con cui sono marcate nel registro dell'immagine di processo. Come per i contatti possono essere sia vere variabili di uscita per il PLC contraddistinte dalla lettera Q o possono essere variabili interne al programma volatili, globali o speciali altrimenti dette merker.

I temporizzatori consentono di implementare funzioni di conteggio comandate a tempo. Vengono siglati con la lettera T seguita da un numero da 0 a 255 a cui corrispondono diverse risoluzioni temporali ben distinte, rispettivamente da un decimo, un centesimo e un millesimo di secondo.

Il set di operazioni S7-200 mette poi a disposizione tre diversi tipi di temporizzatori:

- i TON, che si eccitano solo se abilitati per il periodo di tempo stabilito senza interruzioni;
- i TONR, che grazie ad una di memoria interna si eccitano anche in caso di interruzione del conteggio;
- i TOF, ritardati rispetto alla loro diseccitazione.

I contatori vengono siglati con la lettera C seguita da un numero da 0 a 255 se normali o dalle lettere HC seguite da un numero da 0 a 5 se contatori veloci. Hanno uno o due terminali per il conteggio nel caso si tratti o meno di contatori reversibili ed un terminale di azzeramento. Questi componenti permettono di contare gli impulsi che vengono applicati al proprio ingresso. I contatori vengono utilizzati normalmente per produrre determinati effetti al raggiungimento di un particolare valore di conteggio.

I box sono lo strumento attraverso il quale il programmatore può eseguire le più svariate funzioni matematiche e di controllo sul programma che sta scrivendo. Fanno parte di questa categoria ad esempio tutte le funzioni di comunicazione, di confronto, di conversione, di trasferimento del controllo, la gestione delle stringhe, le operazioni matematiche con numeri reali o interi e la gestione degli interrupt e dei sottoprogrammi.

### ***2.1.2 Definizione delle principali strutture presenti nel software di programmazione Step7***

Le strutture dati messe a disposizione del programmatore che utilizza Step 7 sono le medesime presenti nel linguaggio Ladder, ovvero:

- Ingressi, I, rappresentano gli ingressi digitali collegati al microcontrollore;
- Uscite, Q, rappresentano le uscite digitali del microcontrollore;
- Memoria di variabili, V, attraverso cui è possibile indirizzare direttamente i singoli bit o le parole (byte) delle aree di memoria del microcontrollore;
- Memoria interna o merker interni, M, aree di memoria interna che costituiscono una serie di contatti virtuali messi a disposizione del programmatore;
- Ingresso analogico, AI, sono gli eventuali ingressi analogici messi a disposizione attraverso una unità di ampliamento;
- Uscita analogica, AQ, di nuovo sono le eventuali uscite analogiche messe a disposizione da una unità di ampliamento;
- Temporizzatore, T, come già visto implementano le funzioni temporali di conteggio;
- Contatore, C, implementano funzioni di conteggio di eventi;
- Contatore veloce, HC, come i contatori ma con una risoluzione temporale molto maggiore per riconoscere eventi distinti separati da istanti temporali vicini fra loro;
- SCR, S, sono relè di controllo sequenziale attraverso i quali è possibile scrivere il programma come una macchina a stati;
- Memoria speciale o merker speciali, SM, in cui vengono memorizzate

le informazioni sullo stato di funzionamento del microcontrollore;

- Accumulatore, AC;
- Memoria delle variabili locali, L, proprie di ogni funzione o sottoprogramma e volatili.

### ***2.1.3 Utilizzo degli SCR per creare una macchina a stati***

Per una maggiore comprensione ed una più efficace metodologia di scrittura del codice è molto utile concepire il programma di controllo della macchina automatica come una macchina a stati. Le metodologie per arrivare ad una tale scrittura sono diverse. Si può far ricorso in modo pesante ai merker messi a disposizione dall'ambiente di programmazione ma in questo modo il codice è difficilmente leggibile ed interpretabile in quanto risulta una programmazione a basso livello. Un utile strumento messo a disposizione dal linguaggio sono viceversa le operazioni SCR, relè di controllo sequenziale, che costituiscono una tecnica semplice ma molto efficace per il controllo dello stato dei programmi. In tutti i casi in cui la propria applicazione è costituita da una sequenza di operazioni che vanno eseguite in modo ripetitivo si può ricorrere agli SCR che consentono di strutturare il programma in modo che corrisponda direttamente all'applicazione. Con gli SRC la programmazione ed il test dell'applicazione risultano più rapidi e semplici proprio perché simulano una macchina a stati. Quando si opera con gli SCR vi sono alcune operazioni base per la loro gestione:

- l'operazione Carica SCR (LSCR);
- l'operazione Fine SCR (SCRE);
- l'operazione Transizione SCR (SCRT);
- l'operazione Fine condizionata SCR (CSCRE).

Le operazioni Carica e Fine contrassegnano rispettivamente l'inizio e la fine di un segmento SCR. Tutti i segmenti presenti fra queste due operazioni vengono eseguiti solamente in base al valore assunto dalla variabile dello stack S. Se S ha valore vero allora vengono eseguiti altrimenti vengono saltati e si procede con l'esecuzione del primo segmento dopo SCRE.

L'operazione Transizione SCRT consente di trasferire il controllo dal segmento SCR attivo ad un altro segmento. Il bit S del segmento attivo viene resettato e il bit S del segmento indirizzato viene settato. Vi è da notare che segmento iniziale continua ad essere attraversato dalla corrente finché non viene abbandonato in quanto il reset del bit S su di esso non influisce sullo stack S durante la fase di esecuzione di transizione ma solo una volta che questa è avvenuta. L'operazione Fine condizionata CSCRE consente di uscire dal segmento SCR attivo senza eseguire le operazioni comprese fra Fine condizionata e Fine SCR. L'operazione Fine condizionata SCR non influisce però né sul bit S né sullo stack S. Grazie all'utilizzo degli SCR è possibile dividere logicamente un programma in un flusso unico di fasi sequenziali oppure in più flussi che possono essere attivi simultaneamente. È possibile avere un solo flusso che si divide in modo condizionale in più flussi, oppure avere più flussi che riconvergono in modo condizionale in un unico flusso. Se un flusso di controllo diverge in più flussi, tutti i flussi uscenti che ne derivano vengono attivati contemporaneamente rendendo vere tutte le rispettive variabili S tramite più operazioni SCRT presenti nello stesso segmento. Quando due o più flussi di stati sequenziali devono invece essere riuniti in un unico flusso prima si attende che vengano completati poi viene attivata la variabile S del flusso successivo. In altre situazioni infine è necessario che un flusso di controllo possa essere diretto verso uno dei diversi altri flussi di controllo e questo avviene a seconda di quale condizione di transizione si avvera.



### ***2.1.4 Principali componenti di un progetto scritto per mezzo di Microwin Step 7***

All'interno di ogni progetto scritto attraverso il software Microwin Step 7 è possibile riscontrare una serie di componenti fondamentali molto importanti:

- il blocco di codice;
- la tabella dei simboli;
- la tabella di stato;
- il blocco dati;
- il blocco di sistema;
- i riferimenti incrociati.

Il blocco di codice è la parte del progetto costituito dal codice eseguibile vero e proprio scritto in uno dei tre linguaggi di programmazione possibili e dai commenti. Il codice eseguibile è composto da un programma principale (OB1) e da sottoprogrammi o routine di interrupt. Il codice viene compilato nel computer su cui è installato il software di sviluppo Step 7 e successivamente caricato nella CPU del PLC tramite un cavo seriale.

La tabella dei simboli è uno strumento che consente al programmatore di utilizzare l'indirizzamento simbolico. Spesso l'uso di nomi simbolici al posto dell'indirizzo delle variabili risulta più pratico per il programmatore e ne facilita la comprensione della logica del programma. Il programma durante la compilazione converte i nomi simbolici delle variabili in indirizzi assoluti. Le informazioni sulla tabella dei simboli non vengono caricate nella CPU del PLC in quanto nel codice eseguibile sono presenti solo gli indirizzi assoluti delle variabili.

La tabella di stato è uno strumento molto utile e potente in quanto consente di osservare come variano i valori del processo durante l'esecuzione stessa del programma. Le tabelle non vengono caricate nella CPU perché sono semplicemente uno strumento di monitoraggio dell'attività della CPU del microcontrollore.

Il blocco dati è composto dagli eventuali valori di memoria iniziali e dai valori costanti preimpostati dal programmatore oltre naturalmente ai commenti. Unicamente i dati e non i commenti vengono poi compilati e caricati nella CPU del microcontrollore.

Il blocco di sistema è composto da informazioni di configurazione, come i parametri di comunicazione, le aree di dati a ritenzione, i filtri degli ingressi analogici e digitali, i valori delle uscite per la transizione nel modo STOP e informazioni sulla password. Le informazioni del blocco di sistema vengono tutte caricate nella CPU del PLC.

La finestra riferimenti incrociati consente di prendere visione delle tabelle che elencano i punti del programma in cui vengono utilizzati gli operandi e le aree di memoria già assegnate. Durante la modifica del programma in RUN è inoltre possibile visualizzare i numeri delle operazioni attualmente in uso nel programma. I riferimenti incrociati e le informazioni sull'uso dei bit e dei byte non vengono caricati nella CPU.

### ***2.1.5 Concetto di “programma principale” e di “sottoprogramma”***

Nei progetti realizzati tramite Step 7 vi è la suddivisione fra programma principale, anche detto “main”, e tutti gli altri sottoprogrammi. Il main è quella particolare parte di codice che viene eseguita per prima all'avvio, mentre i sottoprogrammi sono eseguiti soltanto se richiamati attraverso il main stesso. Un sottoprogramma è di fatto un blocco di istruzioni a sé stante e con un proprio nome con cui viene richiamato. Il main può essere visto anche come il primo sottoprogramma eseguito che eventualmente ne richiama altri. Quando il programma principale richiama un sottoprogramma, quest'ultimo esegue il proprio codice, segmento per segmento, fino alla fine. Quindi il sistema restituisce il controllo al programma principale e più precisamente al segmento da cui era stato richiamato il sottoprogramma. Si può sfruttare questa possibilità ad esempio in fase di test oppure per eseguire le operazioni di manutenzione del programma ma le potenzialità vanno ben oltre una semplice diagnostica del codice. I sottoprogrammi comunque facilitano notevolmente la ripartizione del programma e vengono utilizzati per segmentare o dividere il programma in blocchi più piccoli e facilmente gestibili. Grazie ai sottoprogrammi è inoltre possibile sfruttare al meglio le potenzialità della CPU richiamando il blocco solo quando è necessario poiché, molto probabilmente, non tutti i blocchi dovranno essere scansionati in ogni ciclo. Infine, se i sottoprogrammi fanno riferimento solamente ai propri parametri e alla memoria locale, è possibile utilizzarli in programmi diversi ed esportarli in altri progetti. Quest'ultimo aspetto è fondamentale per poter scrivere il codice in cui è implementato il concetto di attuatore generalizzato secondo cui si separano le politiche di gestione della macchina con la reale implementazione dei meccanismi di attuazione. Come si vedrà

nel prosieguo, il codice di gestione della macchina è suddiviso in sottoprogrammi in cui è presente la gestione vera e propria dei vari attuatori con i comandi alle rispettive elettrovalvole e altri in cui è presente più la politica generale di funzionamento della macchina senza scendere nello specifico di come poi vengano attuate tali azioni.

Quando si richiamano sottoprogrammi, tramite l'opportuna funzione di libreria, questi possono contenere parametri o meno. Se vi sono parametri questi vengono definiti nella tabella delle variabili locali del sottoprogramma e devono avere un nome simbolico, un tipo di variabile e un tipo di dati. È possibile passare ad un sottoprogramma fino a sedici parametri. La memoria locale che non viene utilizzata per i parametri passati può essere utilizzata come memoria temporanea del sottoprogramma ed è possibile avere fino a sessantaquattro sottoprogrammi all'interno di un programma.

## ***2.2 Dal ciclogramma al software di controllo della macchina***

Concepito fin dall'inizio per favorire al massimo possibile la leggibilità in vista delle modifiche durante la fase di testing, il software di controllo della macchina automatica si compone di un insieme di sottoprogrammi ognuno dei quali è specifico o per la gestione di una singola operazione logica che la macchina deve compiere, la quale è sempre demandata ad un singolo attuatore. In questo contesto, il sottoprogramma di gestione del ciclo macchina “normale”, di “hard recovery” e di “soft recovery”, agiscono in modo assoluto sull'intera macchina. Vi è da sottolineare però, che nell'ottica di implementare il concetto di attuatore generalizzato, i soli sottoprogrammi che direttamente operano sulle variabili di uscita che comandano le elettrovalvole sono quelli di gestione dei singoli attuatori.

Questo aspetto rende il codice scritto modulare e, di conseguenza, facilmente gestibile a fronte di variazioni nel funzionamento o a modifiche dell'hardware, in quanto è sufficiente riadattare le sole routine di gestione dell'eventuale attuatore modificato, senza dover variare null'altro all'interno del codice di gestione della macchina.

Vi sono venti moduli, ovvero sottoprogrammi, a comporre l'intero codice di movimentazione:

- **Carica\_spine:** routine di gestione della fase logica di caricamento delle spine;
- **Caricatore:** routine di gestione della fase logica di apertura-chiusura della pinza del magazzino delle spine;
- **Esec\_normale:** routine di gestione del ciclo macchina in assenza di problemi o guasti;
- **Estrai\_ganci:** routine di gestione della fase logica di estrazione dei ganci finiti dalla macchina automatica;
- **Hard\_Recovery:** routine di gestione delle emergenze gravi;
- **Homing:** routine di gestione della fase logica di homing dove la macchina assume una configurazione standard e nota a priori;
- **Inserisci\_ganci:** routine di gestione della fase logica di inserimento dei ganci all'interno della macchina automatica;
- **Inserisci\_spine:** routine di gestione della fase logica di inserimento delle spine nei vani dei ganci;
- **Main:** programma principale eseguito all'avvio di ogni ciclo del microcontrollore;
- **Pinza\_caricatore:** routine di gestione della pinza Gimatic mgx2508 di apertura e chiusura del caricatore delle spine;
- **Pinza\_ganci:** routine di gestione della pinza Gimatic mgx2508;

- **Pistone:** routine di gestione del cilindro Pneumax 6100.63.50.c per l'inserimento delle spine;
- **Posiz\_fermi:** routine di gestione della fase logica di presa e inserimento dei fermi all'interno dei ganci;
- **PS\_fermi\_1:** routine di gestione della pinza superiore sinistra Gimatic pzx-265 di presa dei fermi;
- **PS\_fermi\_2:** routine di gestione della pinza inferiore sinistra Gimatic pzx-265 di presa dei fermi;
- **PS\_fermi\_3:** routine di gestione della pinza inferiore destra Gimatic pzx-265 di presa dei fermi;
- **PS\_fermi\_4:** routine di gestione della pinza superiore destra Gimatic pzx-265 di presa dei fermi;
- **Slitta\_frontale:** routine di gestione della slitta Gimatic ZA 20150 per il contrasto frontale;
- **Slitta\_pos\_fermi:** routine di gestione della pinza Gimatic sh6360 per l'inserimento dei quattro fermi nei ganci;
- **Soft\_Recovery:** routine di gestione degli allarmi e malfunzionamenti della macchina automatica;
- **Tamburo:** routine di gestione della tavola rotante Gimatic itsc168 per la rotazione del tamburo.

Il programma è strutturato su più livelli in modo da avere una chiara visione dell'insieme ed una facile accessibilità a fronte di modifiche. Nel prossimo paragrafo, si vedrà in dettaglio le caratteristiche dei principali sottoprogrammi presenti dando rilievo in particolare a quelli di gestione delle fasi logiche. I sottoprogrammi di controllo specificatamente pensati per il testing dei singoli attuatori o blocchi funzionali verranno trattati in modo più esaustivo allorquando si parlerà delle modifiche apportate ad alcuni di essi.

### ***2.2.1 Il gestore dello stato della macchina: main***

Il main ha essenzialmente il compito di invocare il giusto sottoprogramma fra Esecuzione Normale, Hard Recovery o Soft Recovery. Inoltre, unicamente all'avvio della macchina automatica, effettua un reset di tutti i merker M, di tutte le variabili S degli SCR, di tutti i contatori C e i temporizzatori T per evitare errori di funzionamento dovuti a valori ancora in memoria dal ciclo di funzionamento precedente.

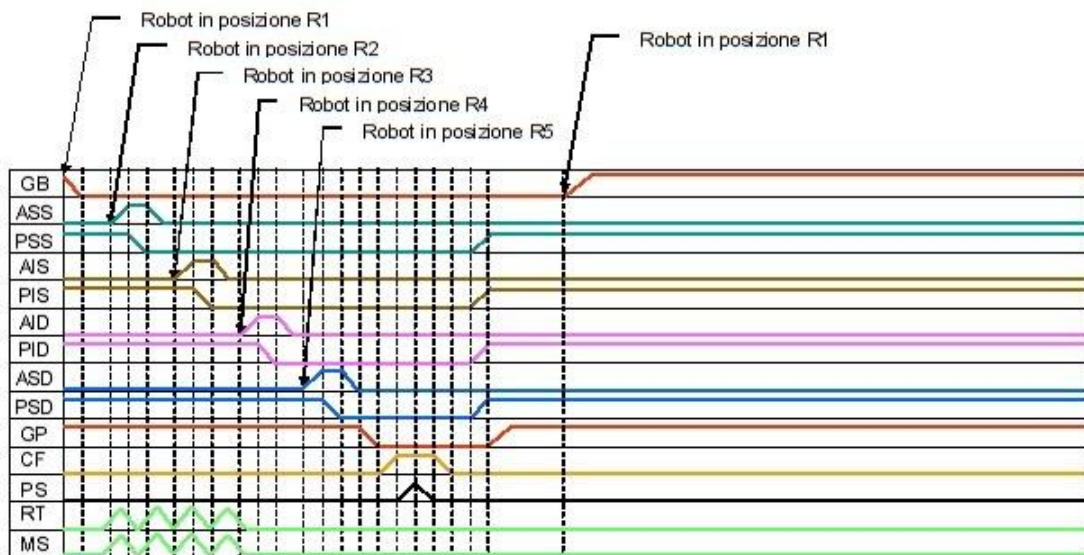
Si richiama la routine di gestione del ciclo macchina base se sono assenti fault sugli attuatori e se non è premuto il pulsante a fungo di emergenza.

Le routine di emergenza vengono invece richiamate a seguito di un fault su uno degli attuatori su cui è possibile rilevarlo nel caso della Soft recovery o a seguito della pressione del pulsante di emergenza nel caso dell'hard recovery.

Il diagramma SFC equivalente di quanto eseguito nel main è il seguente:

### ***2.2.2 Ciclo di esecuzione “Normale”***

Con riferimento al ciclogramma di fig. 10, il quale esplicita le operazioni da eseguirsi, il sottoprogramma che gestisce la normale esecuzione del ciclo-macchina viene richiamato direttamente dal main, a condizione però di non avere un attuatore in fault e che il pulsante a fungo di emergenza non risulti premuto. Esso a sua volta richiama altri sottoprogrammi ognuno dei quali gestisce una particolare funzione della macchina. Le uniche azioni direttamente compiute da questa routine sono attivare la valvola principale dell'aria compressa e attivare gli ENABLE per tutti i sottoprogrammi richiamati.



*Figura 10: Ciclogramma di riferimento per le operazioni degli attuatori*

Il programma è stato scritto nel linguaggio Ladder, ma per avere una rapida visione di quanto eseguito nel ciclo macchina si riporterà, in fig. 11, l'equivalente SFC del sottoprogramma.

L'unica vera distinzione rispetto a quanto visto nel ciclo base precedentemente descritto risulta essere la gestione della ripetitività del ciclo stesso.

L'operazione di caricamento delle spine infatti non è sempre la medesima ma si alterna prima in una durante la quale ne vengono caricate sette seguita da un'altra dove ne viene caricata una sola.

Questo è possibile grazie al fatto che il numero di scatti da effettuare da parte del tamburo è passato alla routine di gestione della tavola rotante come parametro.

È sufficiente, all'atto della chiamata del sottoprogramma Carica\_spine, inserire il valore numerico sette o uno per avere rispettivamente o sette



rotazioni o una sola. Inizialmente era stata presa in considerazione anche un'altra politica di gestione della ripetitività del ciclo la quale comportava l'alternanza di quattro e di tre rotazioni.

Questa è stata scartata a vantaggio di quella adottata in quanto, anche se garantiva tempistiche di rotazione più omogenee, comportava alcune rotazioni in cui in corrispondenza della discesa delle nuove spine dal caricatore l'alveo nel tamburo risulta già occupato da una precedente spina non ancora inserita.

In linea di principio questa occorrenza non dovrebbe creare problemi ma, visto che anche con la rotazione sette-uno le tempistiche sono pienamente rispettate, si è preferito adottare la configurazione con maggiori sicurezze. Nel caso fosse necessario, in futuro, aumentare le prestazioni della macchina automatica questo costituirebbe certamente un primo aspetto sul quale andare a lavorare.

Vi è da notare che per la modularità del codice scritto è sufficiente modificare i due valori numerici passati come parametri al sottoprogramma di gestione della fase di caricamento delle spine per passare da una configurazione all'altra.

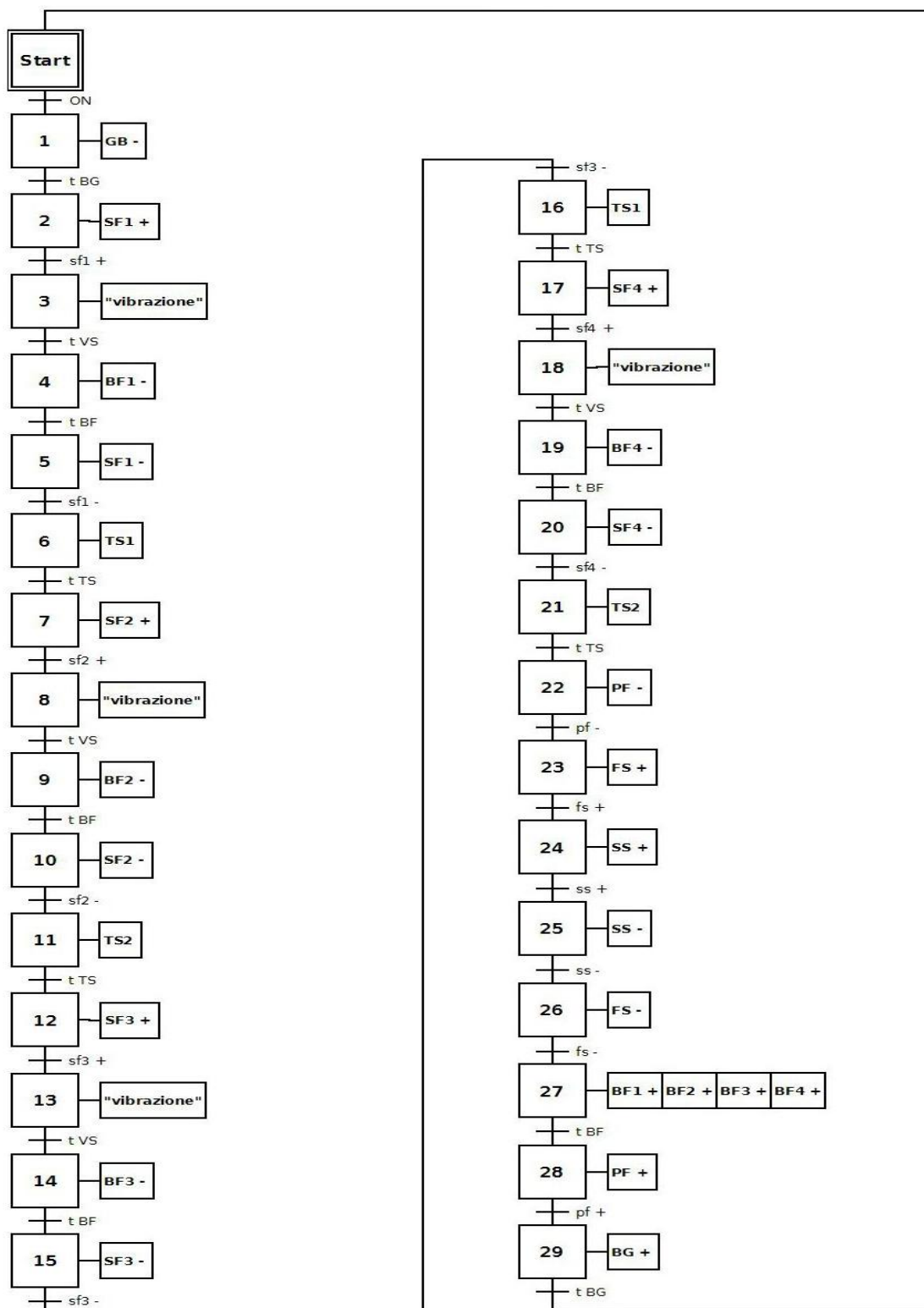


Figura 11: Esempio di sottoprogramma per l'esecuzione del ciclo operativo della macchina automatica

La fase di apertura della valvola principale e di homing sono state escluse dalla ricorsività del ciclo in quanto operazioni preliminari di avviamento della macchina automatica. Naturalmente, una volta che essa è a regime, non è necessario doverle ripetere, pertanto l'unico caso in cui esse potrebbero essere rieseguite è a seguito di un riavvio della macchina dovuto ad un arresto di emergenza.

### **2.2.3 “Homing”**

La gestione della fase di homing risulta relativamente semplice, vista la presenza di elettrovalvole monostabili in quanto, per avere la configurazione voluta, è sufficiente che tutte le elettrovalvole non risultino eccitate dal microcontrollore. Pertanto, il sottoprogramma adibito a tale operazione non deve far altro che resettare tutte le uscite, nel caso alcune di esse siano attive, ed attendere un certo intervallo di tempo per considerare come “terminate” eventuali movimentazioni. È prevista la lettura dei sensori degli opportuni fine corsa e, solo nel caso questi risultino attivi, si procede alla conclusione del sottoprogramma. È dunque necessario il ricorso ad un temporizzatore al fine di creare un ritardo, in quanto non tutti gli attuatori sono dotati di sensori, per cui non è possibile ottenere un feedback sull'eventuale avvenuta movimentazione di essi. Sperimentalmente, il ritardo supposto sufficiente a considerare terminato ogni possibile spostamento è stato calcolato in 3 secondi. Per via della costruzione modulare del software di controllo, si tiene tuttavia a sottolineare come tale valore sia in ogni caso facilmente modificabile senza per questo dover variare altri aspetti del codice.

La configurazione di “homing” della macchina risulta essere:

- Pinza pneumatica per il bloccaggio dei ganci normalmente aperta;
- Pinza pneumatica per il posizionamento dei fermi nei vani dei ganci normalmente aperta;
- Pinze pneumatiche per la presa dei fermi normalmente aperte;
- Slitte pneumatiche per la presa dei fermi normalmente retratte;
- Tavola rotante pneumatica per la rotazione del tamburo normalmente nel primo scatto disponibile fra i due possibili;
- Pinza pneumatica per l'apertura e chiusura del caricatore delle spine normalmente chiusa;
- Cilindro pneumatico per l'inserimento delle spine all'interno dei ganci normalmente retratto;
- Slitta pneumatica per la movimentazione della piastra frontale di contrasto normalmente retratta.

#### ***2.2.4 Hard Recovery***

Tale routine interviene esclusivamente allorquando venga premuto il pulsante a fungo di emergenza, posizionato sul quadro operatore. Vista la gravità di tale azione la macchina viene immediatamente fermata in tutti i suoi componenti, togliendo pressione ad ogni attuatore attraverso la chiusura della valvola centrale, e la CPU viene messa nello stato di STOP. Quest'ultima azione è dovuta al fatto di voler imporre un intervento da parte di un operatore per poter far ripartire il sistema così da evitare erronee ripartenze.

### 2.2.5 *Soft Recovery*

Il sottoprogramma di Soft Recovery viene richiamato all'interno del main nel caso uno degli attuatori si ritrovi in uno stato non compatibile, e dunque in *fault*. Il riconoscimento del non corretto funzionamento o guasto viene effettuato a livello di routine di gestione del singolo attuatore, ma è in questo sottoprogramma che si definiscono le varie azioni che la macchina deve intraprendere. Non sarebbe corretto, infatti, nell'ottica modulare che si è inteso dare al software, che la gestione della macchina avvenga all'interno dei singoli componenti dedicati al controllo del singolo attuatore.

Nello specifico, in quanto dotati di sensori, gli azionamenti sui quali è possibile ottenere informazioni riguardo ad un eventuale malfunzionamento risultano essere:

- il cilindro per l'inserimento delle spine;
- la slitta di contrasto frontale;
- la pinza di posizionamento dei fermi;
- le quattro slitte per afferrare i fermi resi disponibili dal robot.

Per ognuno di questi è presente all'interno del codice un merker dedicato che, se settato, corrisponde allo stato di fault del rispettivo attuatore. Il settaggio avviene come detto all'interno dei sottoprogrammi addetti alla gestione dei dispositivi mentre il reset viene effettuato all'interno di questa routine Soft Recovery. Si noti che, a differenza di quanto avviene per l'hard recovery, in questo caso non viene disattivata la valvola centrale di pressione né viene messa in STOP la CPU del microcontrollore; viene tuttavia richiesta una conferma da parte dell'operatore prima di resettare il merker di fault.

L'operatore ha sempre il controllo e spetta unicamente a lui l'ultimo consenso per poter far ripartire la macchina. All'atto della risoluzione del fault, nel momento in cui viene resettato il merker, la macchina riparte dall'ultima operazione eseguita.

Le azioni intraprese a seguito di un fault risultano essere per ogni attuatore diverse in quanto rispecchiano le necessità proprie di ogni componente.

Nello specifico, nel caso del cilindro di inserimento delle spine, ciò che viene effettuato è la chiusura del cilindro, che viene prontamente retratto per evitare di danneggiare il tamburo rotante presente all'interno del gruppo spine. Solo se esso è retratto, infatti, non pone interferenza di fronte ad una movimentazione del tamburo. Il tamburo, inoltre, presenta unicamente quattro vani dove le protuberanze del cilindro possono inserirsi e, in caso di malfunzionamento, se l'allineamento non fosse garantito, la forza di spinta del cilindro si riverserebbe interamente sul corpo del tamburo, circostanza da evitare assolutamente per non produrre rotture meccaniche.

Nell'eventualità del fault della slitta di contrasto, la procedura prevede che essa venga abbassata e che venga atteso il consenso da parte dell'operatore. Essa viene retratta, al fine di consentire il pieno accesso ad ogni parte e componente della macchina automatica onde facilitarne la riparazione.

Infine, il guasto sulle slitte per afferrare i fermi e sulla pinza di posizionamento viene gestito riposizionando tali azionamenti nella posizione di home, con le slitte retratte e la pinza aperta.

### ***2.2.6 Carica Spine***

Il sottoprogramma Carica Spine ha il compito di gestire la funzione logica di posizionamento delle spine in prossimità dei vani dei ganci per essere successivamente inserite.

Questo avviene, come già visto, tramite il riempimento di un vano del tamburo per volta, dovuto alla caduta per gravità di una spina presente nel caricatore, e la successiva rotazione.

Ogni volta che il tamburo ruota la spina appena inserita viene portata nella posizione successiva e in corrispondenza della zona di carico superiore arriva un nuovo vano vuoto.

Il numero di rotazioni da effettuare non è fisso ma viene passato al sottoprogramma come parametro così da poter essere nel caso facilmente modificabile. Ogni volta che la spina deve scendere nel vano libero del tamburo per effetto della gravità deve anche essere azionata la pinza di apertura e chiusura del caricatore. Non viene direttamente richiamato il sottoprogramma che gestisce la pinza ma viene richiamata la routine caricatore in quanto, come si vedrà, si lascia la possibilità di variare il numero di aperture e chiusure che la pinza deve effettuare prima di ruotare il tamburo.

La singola sequenza di caricamento di una sola spina risulta essere:

1. apri e chiudi la pinza del caricatore n volte (dove n è un parametro di progetto facilmente modificabile);
2. ruota la tavola rotante di uno scatto.

In base al parametro passato alla routine questa singola sequenza di caricamento di una sola spina viene ripetuta tante volte quanto indicato.

### ***2.2.7 Caricatore***

In questa routine, tramite l'ausilio di un contatore, si gestisce l'eventuale apertura e chiusura multipla della pinza del caricatore in occasione della discesa di una spina nell'alveo del tamburo. A seguito di prove effettuate si è visto che la scelta migliore per evitare inceppamenti delle spine risulta essere una singola apertura e chiusura ma si è voluto lasciare la possibilità di variare agevolmente questa scelta progettuale in futuro inserendo questo sottoprogramma. L'unica routine richiamata risulta essere il sottoprogramma *Pinza\_caricatore* che gestisce direttamente la pinza Gimatic mgx2508 di apertura e chiusura del caricatore.

### ***2.2.8 Inserisci Ganci***

Quando questa routine viene attivata la prima azione effettuata è inviare al robot cartesiano la richiesta di inserimento di nuovi ganci da assemblare. Poiché il richiamo a questo sottoprogramma, all'interno del ciclo macchina, è effettuato subito dopo il caricamento delle spine nel tamburo è probabile che il robot in realtà non possa eseguire prontamente quanto richiesto in quanto i ganci risultano ancora in fase di stampaggio nella pressa ad iniezione.

Vi è, perciò, una fase di attesa in cui nel caso si volesse, in una fase successiva di evoluzione della macchina, aumentarne le prestazioni si possono eseguire azioni in parallelo ora non previste.

Non appena il robot ha a disposizione i ganci da assemblare e li ha posizionati nei vani del gruppo di bloccaggio viene mandato un segnale alla CPU per consentire la chiusura della pinza.

Quando la pinza risulta chiusa la richiesta di intervento del robot viene



resettata così da consentire al robot di spostarsi e prepararsi per la fase successiva di inserimento dei fermi.

### ***2.2.9 Posiziona Fermi***

La routine Posiziona Fermi si occupa della presa dei quattro fermi, uno per volta, e del loro successivo contemporaneo posizionamento all'interno dei vani dei ganci. La sequenza prevede, per ogni fermo:

- l'estensione della slitta;
- la richiesta e attesa del posizionamento del robot in corrispondenza della pinza di presa;
- la chiusura della pinza per afferrare il fermo e il reset del segnale di richiesta al robot;
- il rilascio da parte del robot del fermo e l'invio di un segnale apposito di conferma;
- la chiusura della slitta.

Quando viene resettato il segnale di richiesta di inserimento di un fermo al robot questo equivale all'invio di un segnale virtuale di acknowledge. Il robot è quindi libero di aprire la propria pinza, ritornare in una posizione di non intralcio per le movimentazioni della macchina e inviare il segnale di conferma di avvenimento disimpegno del fermo.

La procedura vista viene ripetuta quattro volte, una per ogni fermo, e per permettere al robot di effettuare meno spostamenti possibili fra un posizionamento e il successivo la sequenza di presa risulta essere la seguente:

1. fermo superiore sinistro;
2. fermo inferiore sinistro;
3. fermo inferiore destro;
4. fermo superiore destro.

Non appena i quattro fermi risultano afferrati dalle pinze con tutte le slitte retrate viene attivata la routine di gestione della pinza di inserimento vero e proprio con il compito di posizionarli nei rispettivi vani all'interno dei ganci.

### ***2.2.10 Inserisci Spine***

Questo sottoprogramma ha il compito di controllare l'inserimento delle spine all'interno dei ganci.

Quando viene attivata, le spine sono già state caricate e posizionate dal tamburo in prossimità dei vani e i fermi sono già inseriti all'interno dei ganci.

La procedura operativa implementata consiste nel:

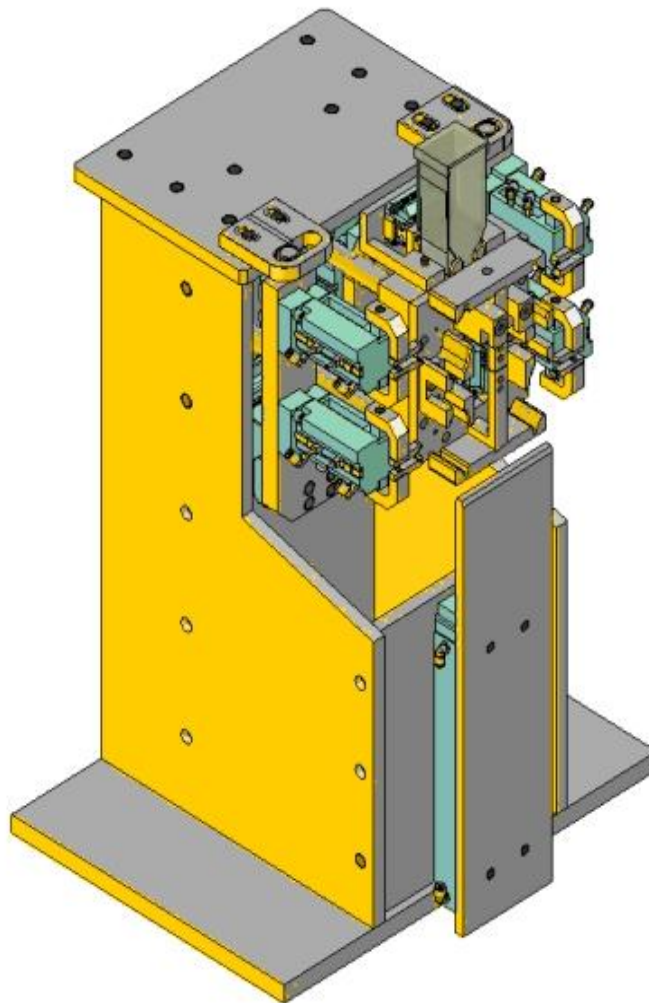
1. sollevare la slitta di contrasto frontale richiamando l'apposita routine;
2. far avanzare e, una volta raggiunto il fine corsa, subito retrarre il cilindro di piantaggio delle spine sempre richiamando la routine che lo supervisiona;
3. abbassare la slitta di contrasto frontale;
4. aprire le quattro pinze che afferrano i fermi tramite le rispettive routine di gestione;
5. aprire la pinza di posizionamento dei fermi per tornare nella configurazione idonea all'inizio di un nuovo ciclo macchina.

### ***2.2.11 Estrai Ganci***

Questo sottoprogramma gestisce l'estrazione dei ganci finiti da parte del robot. Non appena si entra in questa routine si invia infatti al robot cartesiano la richiesta di estrazione dei ganci finiti. Nel momento in cui questi ritornano con il consenso di avvenuta presa si richiama il sottoprogramma di gestione della pinza di bloccaggio per aprirla. Appena la richiesta al robot viene resettata significa che la pinza è stata aperta e i pezzi finiti possono essere estratti e incanalati verso la stazione di montaggio sulla valigia.

### 3. L'hardware della macchina

Ora che è stata definita la sequenza di tutte le operazioni elementari che la macchina è chiamata a compiere, occorre fornire un dettaglio dei singoli componenti hardware, facendone una breve descrizione al fine di non creare ambiguità nel prosieguo della lettura. In questo capitolo verranno pertanto descritte le singole componenti funzionali che costituiscono la macchina, partendo dalla visione di come essa era stata inizialmente concepita, e poi fornendo una descrizione maggiormente esaustiva sul loro funzionamento.



*Figura 12: Visione d'assieme della macchina, secondo il progetto originario*

### ***3.1 Descrizione dei componenti pneumatici e meccanici nel progetto di massima della macchina***

La visione d'assieme della macchina automatica, secondo il progetto di massima, è riportata in figura 12.

In linea di massima, l'hardware della macchina si compone quindi di 3 blocchi:

- Un sistema di presa dei quattro ganci forniti dal robot;
- Un sistema di slitte e pinze che afferra singolarmente i fermi per poi inserirli simultaneamente nei ganci;
- Un sistema di inserimento delle spine nei vani dei ganci.

Per sfruttare l'impianto pneumatico già presente nei pressi della pressa di stampaggio presente in GT Line, sono stati utilizzati unicamente attuatori pneumatici specifici.

In prima analisi, la macchina automatica in oggetto si presenta complessivamente composta da un basamento rigido su cui si innestano i vari gruppi funzionali.

Sinteticamente, i gruppi funzionali risultano essere:

- il basamento B con compiti unicamente di sostegno e riferimento;
- il gruppo pinze GP, avente il compito di ricevere i fermi dal robot cartesiano uno alla volta e movimentarli successivamente tutti assieme in modo da effettuarne il corretto posizionamento negli alloggiamenti dei ganci;
- il gruppo di Bloccaggio GB, avente il compito di bloccare il corpo dei

quattro ganci dopo averli ricevuti dal robot cartesiano;

- il gruppo spine GS, avente il compito di alimentare e posizionare le spine prima dell'inserimento;
- il magazzino spine MS, in grado di contenere un sufficiente accumulo di spine orientate;
- il sistema di piantaggio spine PS;
- il sistema di contenimento frontale CF, destinato a contrastare il corpo del gancio durante la fase di piantaggio delle spine.

Per poter effettuare una maggiore descrizione della macchina nel suo complesso si descrivono ora i singoli gruppi funzionali come sono stati originariamente realizzati, evidenziandone le principali caratteristiche.

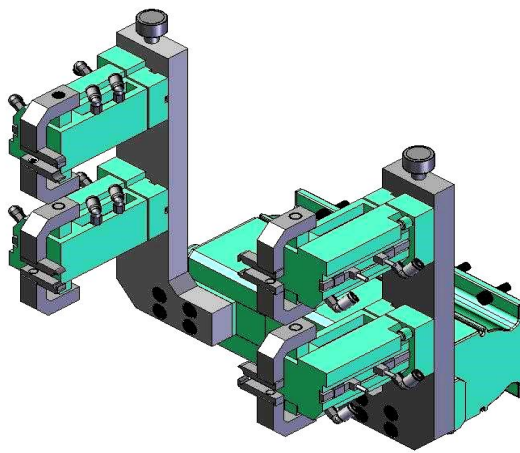
### ***3.1.1 Telaio***

Il telaio è la struttura portante della macchina, e funge da riferimento per il posizionamento di tutti i blocchi funzionali. È stato inizialmente concepito come un insieme di lastre di alluminio unite mediate viti M8 UNI 5932, con testa incassata in apposite lamature. Sulla parte superiore sono sistemati due elementi-guida a rullo vincolati alla piastra superiore in modo scorrevole tale da regolarne la posizione in base all'estremo superiore del sostegno ad L del gruppo pinze di seguito descritto.

### ***3.1.2 Gruppo Pinze***

Poiché in principio i fermi vengono afferrati uno ad uno dal robot cartesiano,

e successivamente posizionati negli alloggiamenti, scopo di questo gruppo funzionale è il loro posizionamento all'interno dei vani dei ganci. Per poter effettuare la presa dei singoli fermi dal robot è necessario un ulteriore grado di libertà lungo l'asse normale a quello di inserimento per evitare che l'end-effector del robot interferisca col gruppo di bloccaggio dei ganci. Il gruppo pinze è costruito attorno al componente commerciale Gimatic sh 6360, pinza a griffe parallele autocentranti con corse di apertura-chiusura della singola griffa di 30 mm. Tale pinza è posizionata e vincolata sopra la piastra verticale del basamento mediante una piastra intermedia che funge da distanziale ed è riferita da boccole cilindriche calibrate. Le posizioni di fine corsa apertura-chiusura sono rilevate da una coppia di sensori magnetici alloggiati in appositi sostegni forniti dal costruttore e fissati al corpo pinza. Alla parte frontale di ciascuna griffa della pinza Gimatic 6360 viene fissato mediante viti e riferito mediante anelli di centraggio un supporto ad L come si può ben vedere dalla figura 13.



*Figura 13: Gruppo Pinze, secondo il progetto di massima*

Questo elemento ad L è destinato a sostenere due pinze Gimatic pzx265: unità combinate costituite da una slitta con corsa 50 mm ed una pinza a griffe

parallele con corsa di apertura di 4 mm. Ad ogni griffa delle pinze è poi fissato un organo angolare che termina con un idoneo profilo di forma, per afferrare i fermi, diverso a seconda che sia quello superiore o inferiore. Ciascuna unità pzx265 è fissata al rinvio ad L mediante viti, con una linguetta che funge da organo di centraggio, tale comunque da consentire piccole regolazioni di posizione in direzione verticale. Alla sommità di ciascuno dei due elementi ad L viene posto un perno a rulli SKF che a sua volta si impegna nell'asola presente nella guida rullo precedentemente descritta nella sommità del basamento.

### ***3.1.3 Gruppo di Bloccaggio***

Il ruolo del gruppo di bloccaggio è quello di alloggiare e bloccare i quattro ganci forniti contemporaneamente dal robot cartesiano. Viene fissato esternamente sulla piastra frontale del gruppo spine in modo da rendere agevole e diretta la traiettoria del robot.

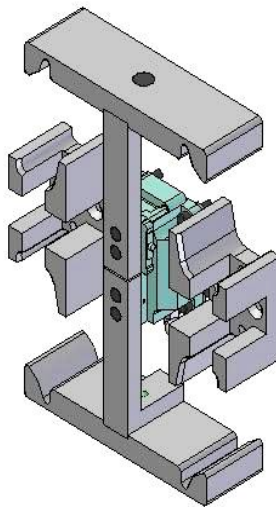


Figura 14: Gruppo di Bloccaggio



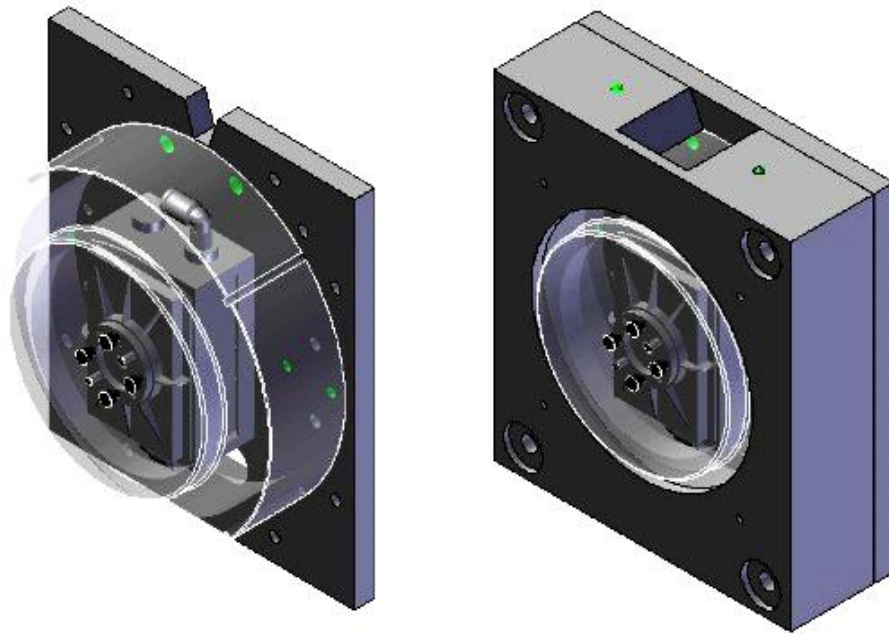
La figura 14 evidenzia come esso sia costituito da due elementi fissi di riscontro ed alloggio, opportunamente sagomati, e da due elementi mobili con opportuni intagli per le parti più sottili dei ganci. Gli elementi mobili sono azionati da una pinza a due griffe parallele Gimatic mgx2508 attraverso due rinvii ad L ciascuno connesso alla propria griffa di azionamento. Grazie al movimento di chiusura della pinza, i ganci vengono bloccati in una posizione di riferimento necessaria per l'inserimento dei fermi da parte del gruppo pinze. Non è previsto alcun sensore dell'avvenuta chiusura o apertura della pinza.

### ***3.1.4 Gruppo Spine***

Ha il compito di alimentare e posizionare le spine in corrispondenza dei vani dei ganci che, in una fase successiva, dal gruppo di piantaggio verranno inserite quattro alla volta. Il numero è dovuto semplicemente al fatto che i ganci a disposizione in uscita dalla pressa di stampaggio, come visto in precedenza, sono esattamente quattro. Tutto il sistema è basato sull'impiego di un tamburo rotante con cave poste sulla sua circonferenza. Ogni volta che il tamburo compie una rotazione di  $360^\circ$  le sue cave passano in successione sotto una zona di caricamento dove le spine possono scendere per gravità posizionandosi entro la cava. Il ridotto gioco tra le pareti del tamburo e le pareti del contenitore impedisce poi che la spina fuoriesca per gravità dalla cava durante la prosecuzione della rotazione. Terminata la rotazione di  $360^\circ$  avremo le quattro cave poste in corrispondenza dell'asse di inserimento nei vani dei ganci riempite con altrettante spine.

Per motivi di ingombro come attuatore rotativo è stata scelta una piccola tavola rotante pneumatica *indexata* prodotta da Gimatic in grado di poter

essere ospitata all'interno del tamburo porta-spine. La tavola rotante è poi fissata ad una piastra frontale su cui vi sono i fori per il passaggio delle spine durante la fase di inserimento nei ganci e vi è un intaglio nella parte superiore per permettere il caricamento dei vani del tamburo durante la fase rotativa.

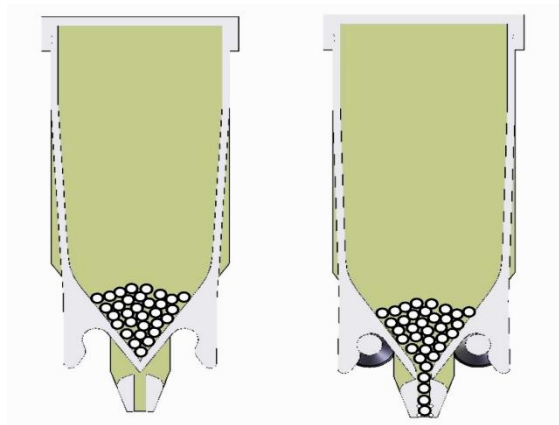


*Figura 15: Vista senza (a sinistra) e con (a destra) il contenitore laterale del tamburo rotante con i vani lungo la superficie esterna, della tavola rotante e della piastra di supporto con il relativo incavo superiore per permettere l'inserimento delle spine nei vani.*

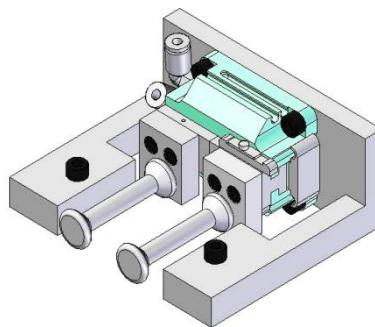
Le spine a loro volta vengono quindi immagazzinate in un caricatore posto sopra il tamburo. Le pareti laterali che lo costituiscono sono deformabili elasticamente a flessione. In assenza di azioni esterne la parte inferiore delle due pareti è quasi a contatto ed il fondo a V del caricatore è in grado di impedire la fuoriuscita delle spine.

Tramite una pinza autocentrante tipo Gimatic gmx265 la V del fondo del

caricatore viene movimentata per ottenere contemporaneamente la fuoriuscita di un certo numero ridotto di spine e il fissaggio del caricatore nella parte superiore del tamburo.



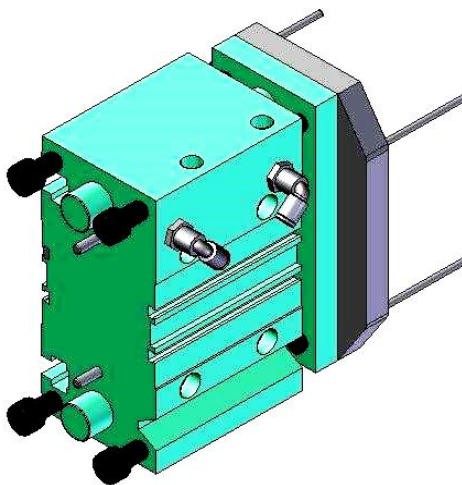
*Figura 16: Principio di funzionamento del caricatore compliant. La configurazione di sinistra non permette la caduta delle spine; grazie al movimento della pinza, nella configurazione di destra si ha invece l'apertura delle alette che permette il caricamento delle spine.*



*Figura 17: Vista della pinza che ha il compito di aprire le alette del caricatore*

### ***3.1.5 Gruppo Piantaggio Spine***

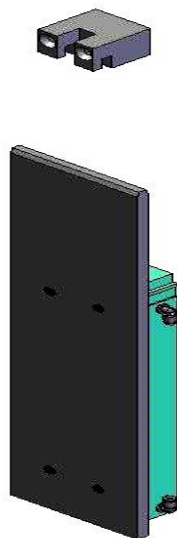
Il gruppo piantaggio spine ha lo scopo di collocare le spine all'interno dei ganci, ultimandone la fase di assemblaggio. Naturalmente questa operazione può essere effettuata solo allorquando i ganci siano effettivamente presenti con i fermi già sistemati all'interno dei vani e le spine sono caricate nel tamburo. Il gruppo è costituito da un cilindro pneumatico capace di una spinta di oltre 1400 N, forte di un alesaggio di 63 mm, e dotato di una corsa di 50 mm. L'asse di spinta è fatto coincidere con il centro di passaggio della risultante delle spinte di inserimento delle spine nei ganci al fine del corretto bilanciamento dei carichi. Alla estremità della sua guida è fissata una piastra su cui sono posti dei cilindretti sufficientemente lunghi da forzare contemporaneamente le quattro spine ospitate nel tamburo ad inserirsi nei vani nei ganci. Per poter avere un maggiore controllo sulla movimentazione ed un feedback sono previsti due sensori magnetici posti rispettivamente nelle opportune sedi per rilevare i fine corsa di pistone rispettivamente retracts ed esteso.



*Figura 18: Vista del gruppo pianta spine*

### ***3.1.6 Gruppo Slitta di Contrasto Frontale***

Per controbilanciare la spinta del cilindro pianta-spine durante la fase di inserimento delle stesse, è d'obbligo il ricorso ad un gruppo-slitta di contrasto, posto in posizione frontale. Durante l'operazione di piantaggio delle spine i ganci infatti vengono sottoposti ad una forza lungo la direzione di avanzamento del cilindro pianta-spine dovuta all'attrito fra le spine che avanzano e il vano del gancio. La pinza presente nel gruppo di bloccaggio è del tutto inadeguata ad esprimere un valido contrasto a questa forza, e viene perciò aggiunto un ulteriore cilindro a slitta guidata, con corsa di 150 mm, al quale è vincolata una piastra di riscontro, che al termine della corsa va ad impegnarsi in un apposito organo fissato sulla piastra frontale del gruppo spine. In questo modo le spinte esercitate sui pezzi da parte del cilindro pianta-spine si scaricano sulla piastra e i ganci risultano vincolati a mantenere la corretta posizione. Sono previsti infine due sensori magnetici da alloggiare nelle opportune sedi della slitta al fine di poter correttamente rilevare le posizioni di fine corsa.



*Figura 19: Vista del gruppo di contrasto frontale*

### ***3.2 Quadri di comando e potenza pneumatico ed elettrico***

Un sistema di alimentazione pneumatico pilotato da elettrovalvole ed un sistema elettrico per l'interfaccia col PLC completano la macchina automatica. Al fine di ridurre al minimo gli ingombri così da avere una macchina automatica facilmente installabile, in prossimità della pressa di stampaggio dei ganci e dei fermi, ed avere una eventuale agevole accessibilità da parte degli operatori al PLC e alle valvole pneumatiche, si è deciso di posizionare tutto il sistema pneumatico e tutto ciò che riguarda il PLC in due armadi industriali a bordo macchina posti uno sopra l'altro come raffigurato in figura 20.



*Figura 20: Armadio del sistema elettrico in cui è installato il PLC (nella parte superiore) ed il sistema pneumatico (nella parte inferiore)*

Installati a bordo macchina, rispettivamente nel retro e nel fianco, rimangono unicamente una scatola elettrica per il corretto cablaggio e alimentazione dei

vari sensori magnetici, due valvole ad avviamento progressivo per l'attuatore rotativo del tamburo e due blocchi per la connessione multipla rapida dei tubi pneumatici diretti ai vari attuatori. Tutti i collegamenti, sia pneumatici che elettrici, fra macchina automatica e armadi avvengono infatti tramite attacchi rapidi o spine industriali così da poter agevolmente separare, a fronte di un eventuale trasporto o manutenzione, unicamente l'apparato interessato. Tutti i sensori vengono cablati e alimentati all'interno della scatola sul retro della macchina e quindi da qui, tramite una connessione con spina industriale, ci si collega all'armadio del PLC unicamente tramite un solo cavo. Si considera ora nello specifico il Sistema Pneumatico e il Sistema Elettrico-Elettronico.

### ***3.2.1 Sistema Pneumatico di attuazione***

Tutti i quattordici attuatori necessari per le movimentazioni richieste sono pneumatici a doppio effetto per cui deve essere previsto un opportuno sistema di alimentazione per l'aria compressa. Gli attuatori presenti nello specifico risultano essere:

- 1 pinza pneumatica a 2 griffe ad azione parallela autocentrante Gimatic mgx2508 per il bloccaggio dei ganci avente raccordi M4 per l'aria compressa;
- 1 pinza pneumatica a 2 griffe ad azione parallela autocentrante Gimatic sh6360 per il posizionamento dei fermi nei vani dei ganci avente raccordi M6 per l'aria compressa;
- 4 pinze pneumatiche autocentranti integrate con slitta Gimatic pzx-265 per la presa dei fermi avente raccordi M3 per l'aria compressa;
- 1 tavola rotante pneumatica Gimatic itsc-168 per la rotazione del

tamburo avente raccordi M4 per l'aria compressa;

- 1 pinza pneumatica a 2 griffe ad azione parallela autocentrante Gimatic mgx2508 per l'apertura e chiusura del caricatore delle spine avente raccordi M4 per l'aria compressa;
- 1 cilindro pneumatico Pneumax 6100.63.50.c per l'inserimento delle spine all'interno dei ganci una volta posizionati anche i fermi avente raccordi M6 per l'aria compressa;
- 1 slitta pneumatica Gimatic ZA 20150 per la movimentazione della piastra frontale di contrasto avente raccordi M6 per l'aria compressa.

Come si può notare dall'elenco appena fornito non vi è uniformità fra i diametri dei tubi di alimentazione richiesti dai singoli attuatori. Nonostante ciò, sfruttando i blocchi di connessione rapida multipla presenti sulla macchina, i collegamenti con i tubi di diametro Ø3 sono ridotti al minimo e più precisamente unicamente fra le pinze pzx-265 e i blocchi stessi. I collegamenti fra le elettrovalvole e i blocchi di connessione multipla avvengono infatti unicamente con tubi di diametro Ø6 e Ø4: rispettivamente i primi per il cilindro Pneumax, la slitta Gimatic ZA 20150 e la pinza Gimatic sh6360 mentre i secondi per tutti i restanti attuatori. Come visto infatti tutti i tubi dell'aria compressa provenienti dalle elettrovalvole non arrivano direttamente ai singoli attuatori ma per consentire una eventuale facile movimentazione della macchina vengono convogliati in opportuni blocchi di connessione rapida multipla così da poter essere agevolmente staccati o ricollegati tutti assieme in poche semplici operazioni oltre a rendere possibile il cambio di diametro del tubo per l'aria compressa delle pinze e slitte pzx-265.



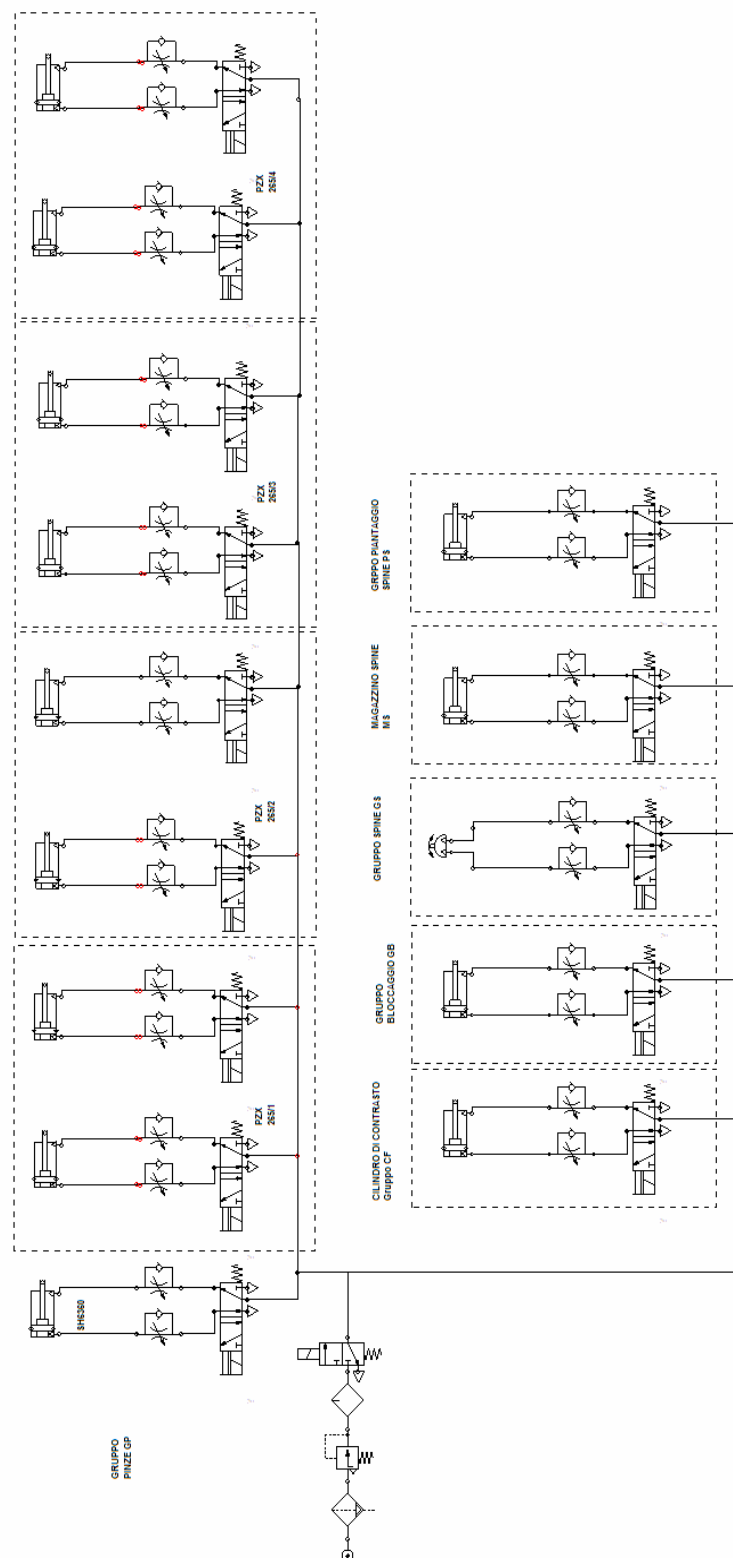
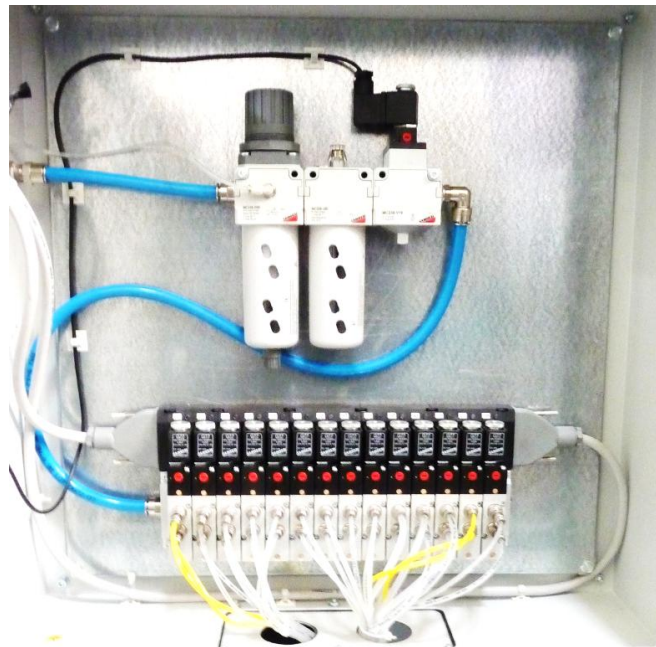


Figura 21: Schema generale del circuito pneumatico

Come da figura 21, lo schema generale anticipa quanto è contenuto all'interno dell'armadio esterno alla macchina, nel quale sono alloggiati:

- un gruppo elettrovalvole 5/2 monostabili di alimentazione e comando degli attuatori pneumatici, prodotto da Camozzi;
- la valvola generale per l'intero sistema, Camozzi MC 238 – V16;
- il dispositivo di filtraggio dell'aria compressa in ingresso, Camozzi MC 238 - D00;
- il dispositivo per l'eventuale lubrificazione dell'aria compressa in ingresso, Camozzi MC 238 - L00.



*Figura 22: Vista complessiva del contenuto dell'armadio relativo al Sistema Pneumatico*

La valvola generale, a monte del sistema, è fondamentale per una corretta gestione di eventuali allarmi e pericoli in quanto rende possibile l'istantanea

nonché contemporanea disabilitazione di tutti gli attuatori, togliendo pressione all'intero sistema. La possibilità di poter lubrificare l'aria compressa proveniente dalla rete di distribuzione presente in azienda non è stata sfruttata per il carattere di test preliminare che l'intero studio risulta essere e per lasciare la possibilità di scelta ad una fase futura di avanzamento dell'intero progetto. Se infatti si fosse iniziato fin da subito ad usare aria compressa lubrificata questa scelta sarebbe stata vincolante per qualunque sviluppo o installazione futura. A ulteriore conforto della scelta fatta si deve considerare il lavoro svolto come puramente un test sulle funzionalità della macchina per cui le frequenze di funzionamento e i cicli macchina sono ben lontani da quelli nominali di normale funzionamento operativo. Le usure delle guarnizioni interne dei vari attuatori sono quindi da considerarsi in questa fase praticamente nulle anche a fronte della mancata lubrificazione dell'aria compressa.

L'uso delle valvole 5/2 monostabili è invece funzionale alla necessità di ridurre al minimo possibile il numero di comandi in uscita dal PLC, mantenendo così un unico segnale di comando per ogni elettrovalvola.

Come si potrà notare dalla figura 20, sulla parte frontale del quadro è presente un manometro che consente di risalire agevolmente alla pressione istantanea di esercizio della macchina. Tale aspetto è fondamentale per l'attività pratica, in quanto rende evidenti eventuali malfunzionamenti dovuti ad una pressione di esercizio al di fuori del range di funzionamento, che si è dimostrato non particolarmente largo.

Sulla macchina automatica, e precisamente nella parte superiore del telaio, sono state installate due valvole ad avviamento progressivo Camozzi MC 104-AV, funzionali al corretto funzionamento della tavola rotante del

tamburo, delle quali si tornerà a parlare in seguito.



*Figura 23: Vista delle due valvole ad avviamento progressivo Camozzi MC 104-AV*

Per taluni attuatori è presente anche un'ulteriore regolazione sullo scarico tramite valvole manuali poste direttamente in loco. Esse rimangono da settare opportunamente in una fase di messa in opera, ed hanno lo scopo di garantire una corretta velocità di movimentazione del singolo attuatore sul quale vengono installate, consentendo di impostare differenti velocità di attuazione rispettivamente per la fase di estensione e di ritorno.

L'eventuale ricorso a valvole pilotate per il ritegno finalizzato al mantenimento di una particolare configurazione è stato escluso a priori in quanto il sistema è apparso sufficientemente stabile in tutte le fasi dei test.

### ***3.2.2 Sistema Elettrico per alimentazione PLC e sensori***

Il quadro elettrico e tutto ciò che riguarda il PLC di controllo sono racchiusi all'interno dell'armadio posto in concomitanza con quello del sistema pneumatico e per l'esattezza sopra ad esso. Esternamente all'armadio, ai lati, sono presenti le prese industriali ad attacco rapido utilizzate per i collegamenti elettrici fra il PLC, i sensori, le elettrovalvole e i segnali scambiati con il robot cartesiano. Nella parte frontale sono invece presenti i comandi e le segnalazioni per l'operatore che deve governare al corretto funzionamento della macchina. Nello specifico, come evidenziato dalla figura 24 questi risultano essere:

- Comando di accensione e spegnimento dell'alimentazione del quadro elettrico;
- Segnale luminoso di conferma e verifica avvenuta alimentazione e accensione del quadro elettrico;
- Pulsante a fungo di emergenza per fermare e bloccare immediatamente il funzionamento della macchina;
- Pannello operatore modello Siemens TD400C per interfacciarsi con il PLC.



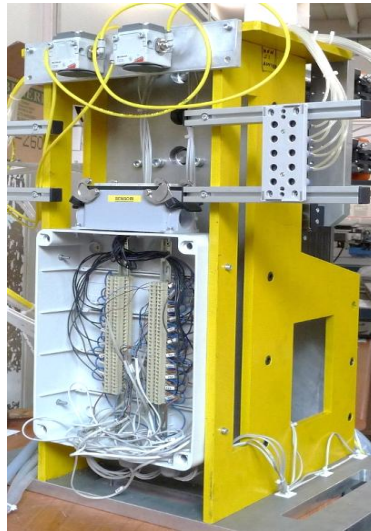
*Figura 24: Vista frontale dell'armadio del sistema elettrico-elettronico in cui sono presenti i comandi e le segnalazioni per l'operatore addetto alla macchina*

Il quadro elettrico interno all'armadio è caratterizzato da una potenza totale di 4 KW, da una corrente massima di 10 A e da una tensione di esercizio di 230 V per il sistema principale e di 24 Vdc per tutti gli ausiliari. Lo scopo principale del quadro è alimentare il PLC presente all'interno dell'armadio, i sensori e le elettrovalvole. I collegamenti elettrici di alimentazione e segnale con le elettrovalvole, situate nell'armadio del sistema pneumatico, e con i sensori, dislocati nei vari attuatori ma cablati tutti nella scatola posta nel retro della macchina, avvengono tramite spine ad attacco rapido della ILME IP 65 al cui interno sono presenti connettori multipli WIELAND rispettivamente da 16 poli per le elettrovalvole e da 24 poli per i sensori.



*Figura 25: Vista di una delle spine ad attacco rapido*

Il cablaggio elettrico dei sensori avviene all'interno della scatola a bordo macchina per evitare che la lunghezza dei cavi degli stessi diventi un vincolo sull'ubicazione del PLC.



*Figura 26: Vista del retro della macchina in cui è alloggiata la scatola di derivazione dei sensori*

I sensori utilizzati per rilevare i fine corsa sono tutti magnetici e in particolare risultano essere:

- Sensore magnetico di prossimità con led GIMATIC modello SS4N225-G per la slitta di contrasto frontale Gimatic ZA 20150, la pinza di inserimento contemporaneo dei fermi nei ganci Gimatic sh6360, le slitte delle quattro pinze Gimatic pzx-265;
- Sensore ad effetto Hall con led Pneumax modello 1580.HAP per il cilindro Pneumax 6100.63.50.c addetto all'inserimento delle spine.

Ogni sensore, indipendentemente dal modello, per rilevare i fine corsa riconosce la presenza di un campo magnetico e invia quindi il segnale di avvenuto riscontro al PLC. I campi magnetici rilevati vengono generati da magneti permanenti presenti all'interno dei vari attuatori. Ogni sensore è composto da tre cavi: due per l'alimentazione e uno per il segnale. All'interno della scatola posta nel retro della macchina avviene proprio il cablaggio

dell'alimentazione comune a tutti i sensori e l'invio al PLC dei vari segnali. Il PLC utilizzato è un SIEMENS SIMATIC S7-200 dotato di CPU 224. Poiché questo dispone di un numero insufficiente di uscite e ingressi per comandare tutte le elettrovalvole e ricevere i segnali da tutti i sensori si è aggiunta una espansione per aumentarne il numero. L'apparato aggiuntivo risulta essere un SIEMENS 223-1-BM22-OXAO. Entrambi risultano alimentati a 24V (dc). Si è scelto di utilizzare il microcontrollore Siemens in primo luogo perché già utilizzato nella catena produttiva della valigia all'interno della GT Line e quindi per non introdurre discontinuità tecnologiche inutili. La serie SIEMENS SIMATIC S7-200 è inoltre una linea di controllori programmabili di dimensioni ridotte in grado di controllare un'ampia varietà di applicazioni. La compattezza del design, i costi contenuti e l'esteso set di operazioni disponibili lo hanno reso la soluzione ottimale per quanto voluto.



*Figura 27: Vista del PLC SIEMENS SIMATIC S7-200*





*Figura 28: Vista del modulo di espansione I/O SIEMENS 223-1-BM22-OXAO*

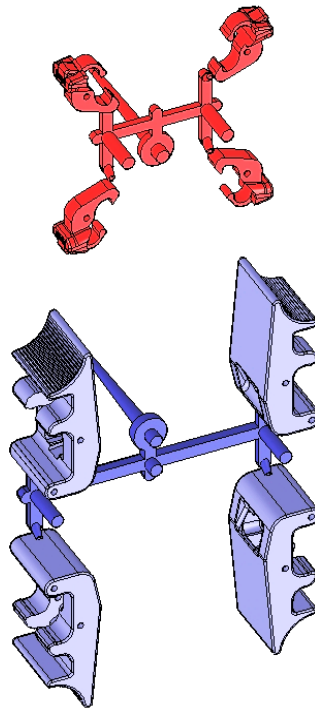
### ***3.3 Sequenza operativa e ciclo macchina***

Nel primo capitolo è stata enunciata la procedura corretta, che attualmente viene ancora effettuata manualmente all'interno della catena di produzione della GT Line, di assemblaggio dei ganci delle valigie Explorer che consiste nel:

1. afferrare il gancio;
2. inserire il fermo nella sede idonea e tenerlo nella giusta posizione;
3. inserire la spina.

Questa procedura manuale però non sfrutta in alcun modo l'orientamento con cui i ganci e i fermi sono resi disponibili dalla pressa di stampaggio. Attualmente, i componenti vengono separati dagli sfridi in modo manuale e, sempre manualmente, in un secondo momento viene effettuato l'accoppiamento fra un gancio e il suo fermo di sicurezza con l'inevitabile

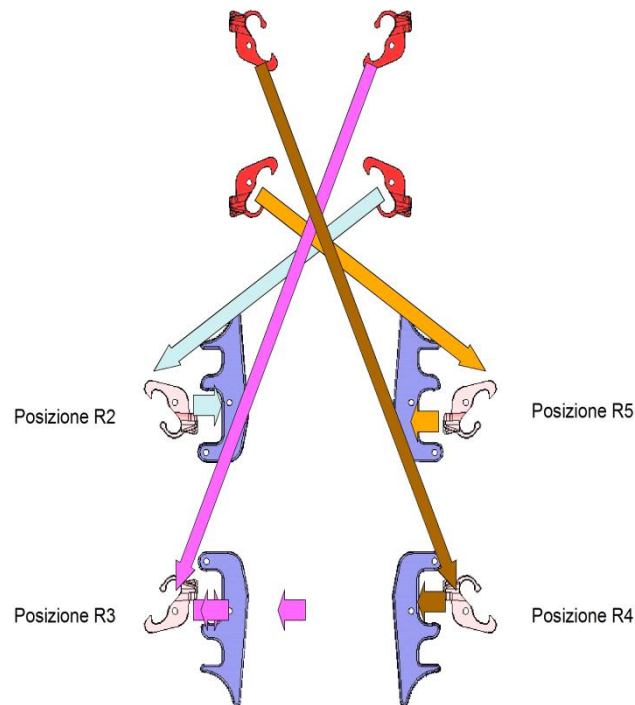
necessità di dover gestire un magazzino di ganci e fermi non ancora assemblati. Quando questa procedura viene automatizzata, si vuole poter gestire e operare direttamente con i componenti, così come sono disponibili in uscita dalla pressa di stampaggio, senza l'intervento di un operatore e senza la necessità di prevedere una fase intermedia di stoccaggio dei pezzi non assemblati.



*Figura 29: Fermi in rosso e ganci in blu in uscita dalla pressa di stampaggio*

Nonostante fondamentalmente la procedura rimanga valida, questa subisce inevitabili variazioni dovute alla gestione di una macchina automatica che deve compiere tutte queste operazioni in modo autonomo. I ganci e i fermi sono disponibili solo dopo essere stati stampati attraverso una pressa ad iniezione plastica e come visto sono disponibili quattro alla volta. È compito del robot cartesiano, come già visto nel primo capitolo, sia togliere le materozze attorno ai pezzi e sia disporre i ganci e i fermi nella macchina con

il giusto orientamento operando le opportune traslazioni per i fermi come visto in precedenza.

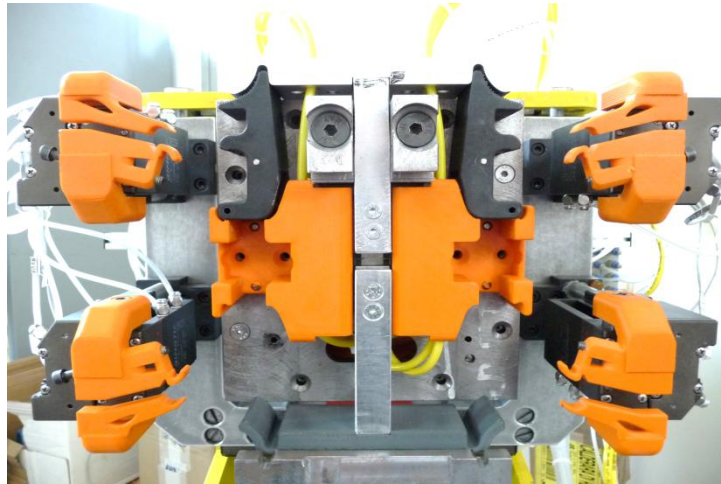


*Figura 30: Traslazione dei fermi effettuata dal robot per permettere il corretto accoppiamento gancio-fermo di sicurezza*

Come visto in precedenza la macchina automatica è costituita da diversi gruppi funzionali attraverso i quali si arriva all'obiettivo di assemblare quattro ganci per volta.

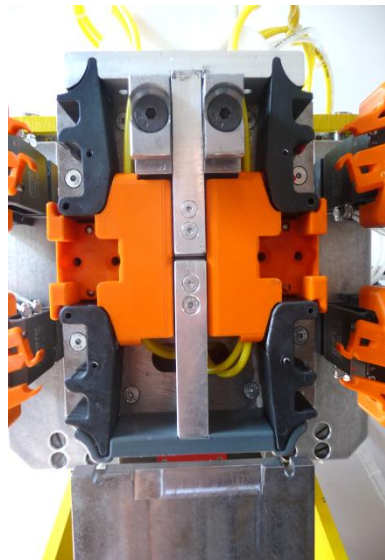
Riprendendoli brevemente questi risultano essere:

- Gruppo Pinze, con lo scopo di afferrare i fermi dal robot e posizionarli all'interno dei vani dei ganci;



*Figura 31: Vista frontale del gruppo pinze in versione finale*

- Gruppo di Bloccaggio, con lo scopo di fermare e fissare i quattro ganci portati dal robot cartesiano;

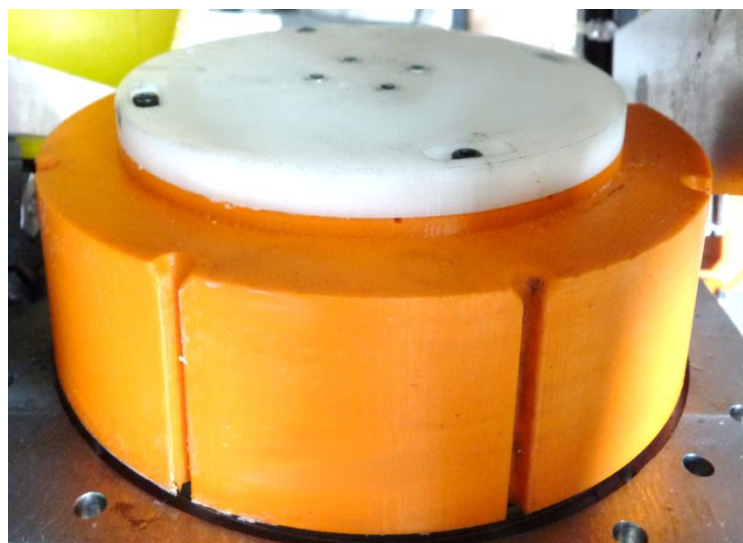


*Figura 32: Vista del gruppo pinze durante la fase di bloccaggio del corpo dei quattro ganci*

- Gruppo Spine, con lo scopo di rendere disponibili le quattro spine da posizionare in prossimità delle sedi dei ganci tramite un sistema a tamburo rotante e caricatore avente la funzione di magazzino;

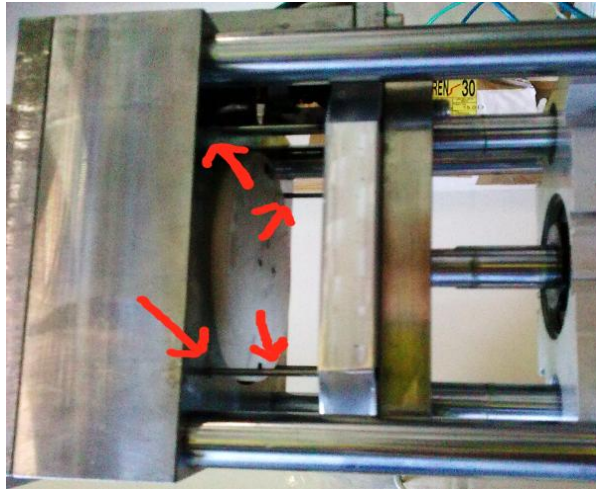


*Figura 33: Particolare della fase di caricamento di una spina*



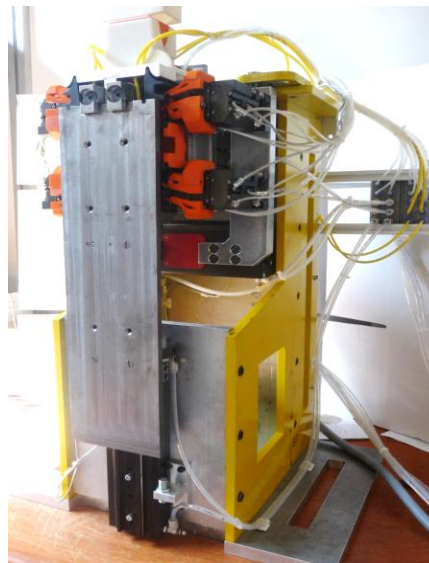
*Figura 34: Vista del tamburo rotante*

- Gruppo Piantaggio Spine, con lo scopo di inserire effettivamente le spine all'interno dei vani presenti nei ganci;



*Figura 35: Vista del cilindro durante la fase di estensione con conseguente inserimento delle spine*

- Gruppo Cilindro di Contrasto Frontale, con lo scopo di contrastare le forze che i ganci subiscono durante l'inserimento delle spine per via dell'attrito che inevitabilmente si viene a generare.



*Figura 36: Vista della slitta di contrasto frontale mentre risulta alzata*

Il ciclo macchina base per assemblare i ganci è idealmente concepito come un susseguirsi di fasi logicamente indipendenti fra loro.

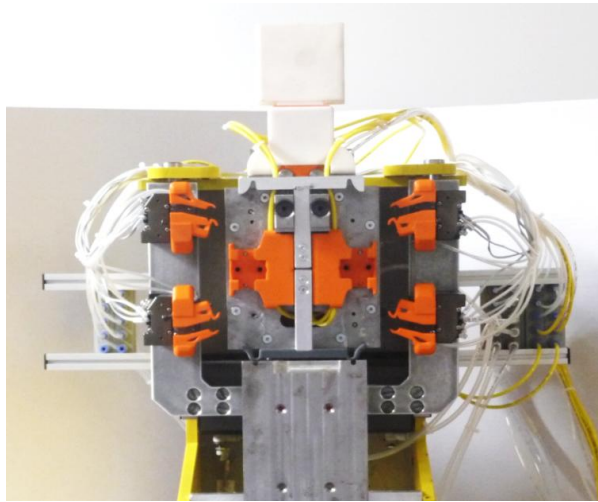
1. Le spine vengono precaricate in occorrenza dei vani dei ganci grazie al tamburo rotante;
2. I quattro ganci forniti dal robot con la medesima orientazione che essi hanno negli stampi vengono bloccati;
3. Un sistema di pinze e slitte afferra un fermo per volta ciascuno dei quali viene fornito dal robot dopo aver effettuato l'opportuna traslazione per arrivare al corretto abbinamento gancio-fermo e successivamente vengono inseriti simultaneamente all'interno dei ganci;
4. le spine precedentemente precaricate in corrispondenza dei vani dei ganci vengono inserite tramite il cilindro pneumatico;
5. il robot estrae dalla macchina i ganci assemblati.

### ***3.3.1 Il caricamento delle spine***

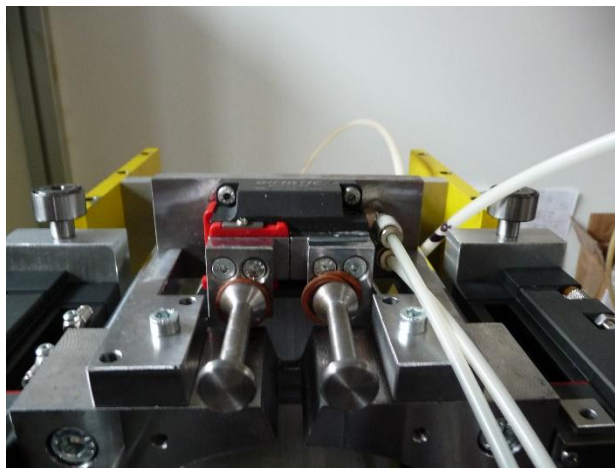
Come prima manovra da eseguire si è scelto di effettuare la fase di messa a disposizione delle spine in quanto si considera questa una operazione da svolgere in parallelo con lo stampaggio vero e proprio dei ganci e dei fermi così da ridurre al minimo i tempi morti di attesa. Una volta che il robot ha a disposizione i pezzi ed inizia a disporli all'interno della macchina, le spine sono infatti già state caricate negli alvei del tamburo pronte per essere inserite nei ganci. Il tamburo rotante è, come visto, il sistema trovato mediante cui le spine vengono posizionate in occorrenza dei vani dei ganci caricati nella parte frontale della macchina. Le spine sono stoccate in un



magazzino intercambiabile posto al di sopra della macchina automatica (figura 37). Le pinze che governano l'apertura del caricatore vengono aperte (figure 38 e 39) per permettere la discesa delle spine all'interno dei vani del tamburo mentre questo risulta fermo in attesa dell'operazione di caricamento. Non appena la spina è inserita, il tamburo ruota in senso antiorario permettendo ad un nuovo alveo (fig. 40) di caricarsi con una nuova spina (figure 41 e 42). Tale operazione viene ripetuta fintanto che non sono presenti le spine in occorrenza di ogni gancio.



*Figura 37: Vista del caricatore sopra la macchina in cui sono custodite le spine*

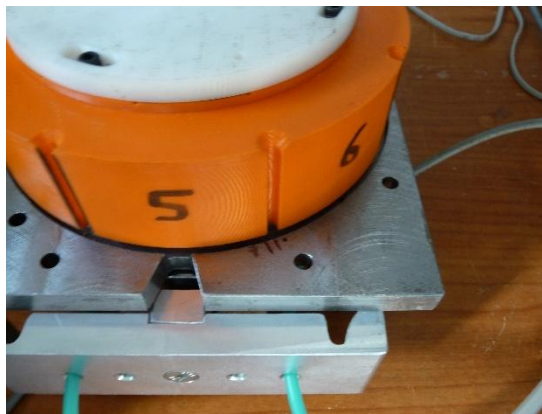


*Figura 38: Slitta a doppio effetto che comanda le pinze di apertura del vano spine*





*Figura 39: Pinza di apertura del caricatore che permette la caduta delle spine*



*Figura 40: Vista dei vani del tamburo, smontato*



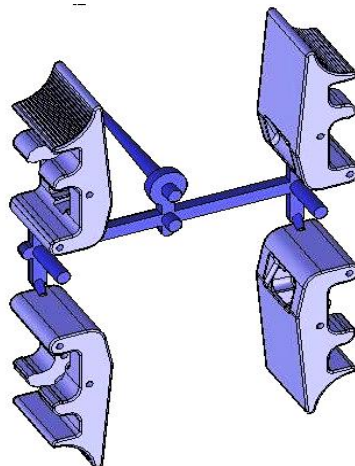
*Figura 41: Vista del tamburo prima del caricamento della spina*



*Figura 42: Vista del tamburo dopo il caricamento della spina*

### ***3.3.2 L'inserimento dei ganci***

Si attende l'avvenuto posizionamento contemporaneo dei quattro ganci da parte del robot nelle sedi nella parte frontale della macchina dove vengono bloccati nella stessa configurazione e orientamento con cui sono stati prodotti dalla pressa di stampaggio.



*Figura 43: Vista di riferimento per l'orientamento dei ganci in uscita dalla pressa*

### ***3.3.3 Il posizionamento dei fermi***

Si attende il posizionamento da parte del robot cartesiano dei quattro fermi, uno per volta dopo aver effettuato le opportune traslazioni per ciascuno di essi, nelle pinze laterali, quindi li si inserisce contemporaneamente all'interno dei vani nei ganci.

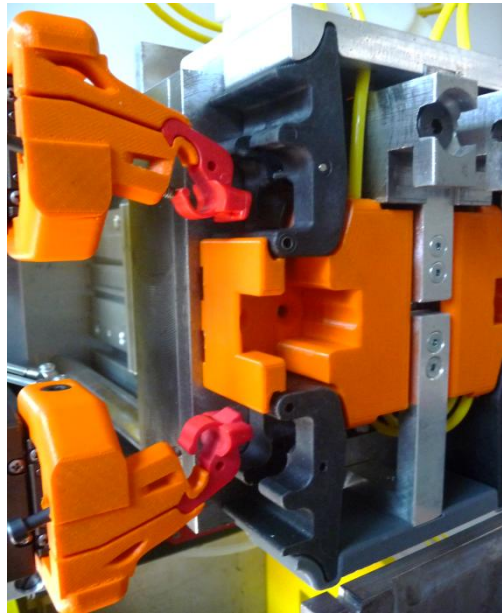
Le pinze che afferrano i fermi sono dotate, come visto, anche di slitte in quanto al robot sarebbe impossibile arrivare direttamente in prossimità dei vani dei ganci, per via dell'interferenza dovuta alla parte frontale del gruppo di bloccaggio della macchina. Ogni volta che un singolo fermo viene messo a disposizione, da parte del robot, la sequenza operativa risulterà:

1. avanzamento della slitta corrispondente;
2. chiusura della pinza e presa del fermo con conseguente consenso al robot di lasciare la presa (figura 43);



*Figura 44: Vista della pinza che afferra il fermo*

3. chiusura della slitta nella posizione per il corretto inserimento all'interno dei ganci (figura 45).



*Figura 45: Vista delle slitte retrate in posizione per l'inserimento dei fermi all'interno dei ganci*

Solo al termine del ciclo di presa di tutti e quattro i fermi si esegue il loro simultaneo inserimento all'interno dei ganci chiudendo la pinza centrale Gimatic sh6360.



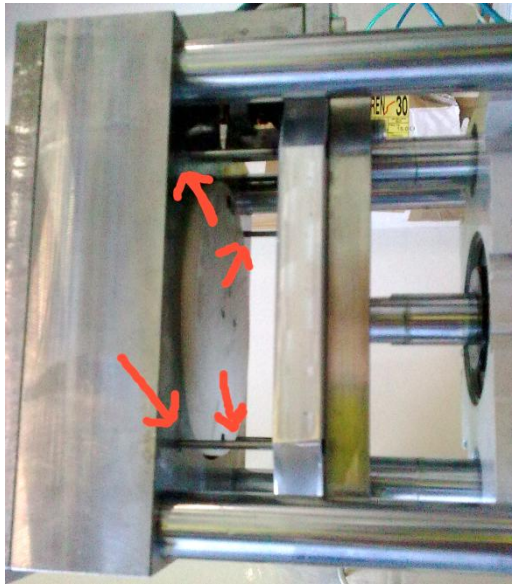
*Figura 46: Particolare di un fermo durante l'inserimento all'interno del gancio*

### ***3.3.4 L'inserimento delle spine***

Si inseriscono le spine con l'avvertenza di usare il cilindro di piantaggio solo quando la slitta di contrasto frontale è effettivamente in posizione (figura 47). Questa viene movimentata, e per l'esattezza alzata, unicamente durante la fase di inserimento delle spine mentre in qualunque altro momento risulta nella posizione bassa per permettere pieno accesso ai ganci come ai fermi. Il cilindro pneumatico durante la fase di avanzamento inserisce le spine all'interno dei vani dei ganci (figura 48).



*Figura 47: Vista della slitta di contrasto sollevata*



*Figura 48: Vista del cilindro pneumatico durante la fase di inserimento delle spine*

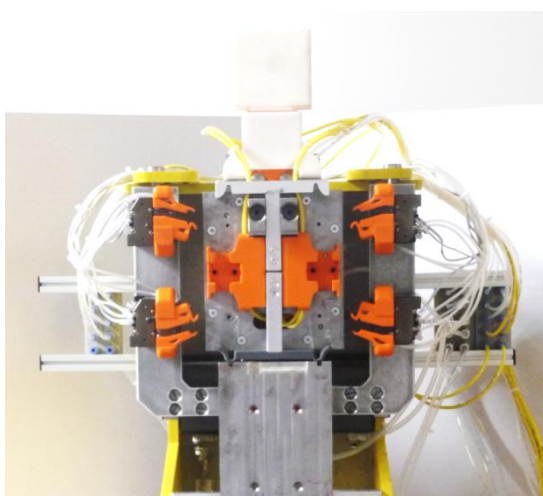
### ***3.3.5 L'estrazione dei ganci***

Quando i quattro ganci presenti sulla macchina risultano assemblati si attende la loro estrazione contemporanea da parte del robot cartesiano. La pinza di bloccaggio dei ganci viene aperta per permettere al robot di estrarli. Non appena i ganci sono stati estratti la macchina è pronta a ricominciare l'intera sequenza operativa da capo.





*Figura 49: Vista di un gancio appena assemblato in cui la spina e il fermo sono correttamente inseriti*



*Figura 50: I ganci vengono estratti per ricominciare con un nuovo ciclo macchina*

## 4. Modifiche apportate ai componenti

In questo capitolo viene fatta una disamina sulle principali problematiche incontrate su alcuni componenti dal punto di vista meccanico. Il progetto iniziale è risultato affetto da una serie di problemi, ed in questo senso il lavoro compiuto è stato quello di partire dal disegno di massima e, tramite una sequenza di modifiche “step-by-step”, arrivare ad ottenere un hardware completo e funzionante in tutte le sue componenti. Come detto, verranno trattati solo alcuni tra i gruppi funzionali della macchina, di ognuno dei quali verrà parimenti descritto il software di controllo realizzato per effettuarne il testing specifico.

In questo contesto, è stato fatto ampio ricorso ad una scaletta di operazioni cicliche volte ad ottenere un graduale affinamento della macchina, che possono essere brevemente riassunte in:

- Analisi su Solid Edge dei disegni meccanici del progetto di massima;
- Scrittura di un software di controllo dedicato, tramite Step 7, successivamente installato nel microcontrollore di governo della macchina;
- Testing diretto sul processo per evidenziarne le eventuali criticità;
- Riprogettazione delle eventuali componenti meccaniche;
- Inserimento dei parametri specifici, ed eventuale adattamento del software di controllo Step 7;
- Testing sulla validità delle correzioni e sulla ripetibilità del processo;
- Esecuzione di lavorazioni meccaniche di affinamento per incrementare la qualità del prodotto finito;
- Testing finale per la valutazione delle prestazioni



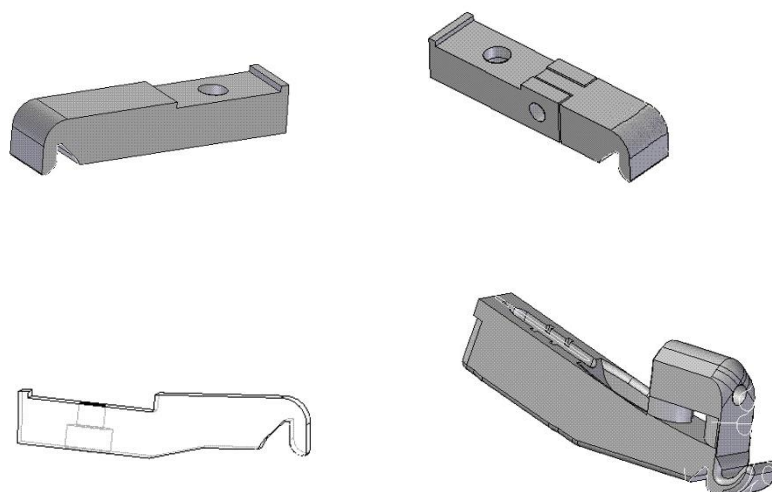
#### ***4.1 Gruppo pinze***

Il gruppo pinze è stato con ogni probabilità il blocco funzionale più delicato da trattare, prima di tutto in quanto il prototipo iniziale della macchina ne era completamente sprovvisto, e secondariamente in quanto non esisteva un'idea univoca che garantisse che la sua realizzazione pratica si dimostrasse effettivamente funzionante. In particolare, le criticità di tale componente erano dovute al fatto che l'innesto del fermo all'interno dei ganci doveva avvenire nel rispetto di una determinata traiettoria, non rettilinea, che l'attuatore pneumatico avrebbe dovuto rispettare con estrema precisione, pena la completa rottura dell'end effector o di altri componenti. A tal proposito, le possibili soluzioni prese in esame sono state almeno tre:

- La sostituzione dell'attuatore pneumatico con un componente elettrico, molto più facilmente controllabile;
- Il ricorso ad un meccanismo basato su un sistema di guide e/o camme, eventualmente alimentato direttamente da un motore pneumatico;
- La riprogettazione completa dell'end-effector, sfruttando le proprietà di elasticità direzionale offerte dalla tecnica di prototipazione rapida.

Dunque, le prime due soluzioni proposte rappresentavano un approccio al problema di tipo “attivo”, mentre la terza, inizialmente ritenuta meno promettente delle altre, rappresentava un approccio di tipo “adattativo”, e dunque passivo. Anche in virtù delle specifiche, la scelta tra le tre possibili alternative è avvenuta in funzione di considerazioni legate primariamente ai costi di sviluppo ed, in questo, la soluzione più economica (ed anche la più veloce da attuare) è stata senza dubbio la terza, che per questo motivo è stata studiata per prima.

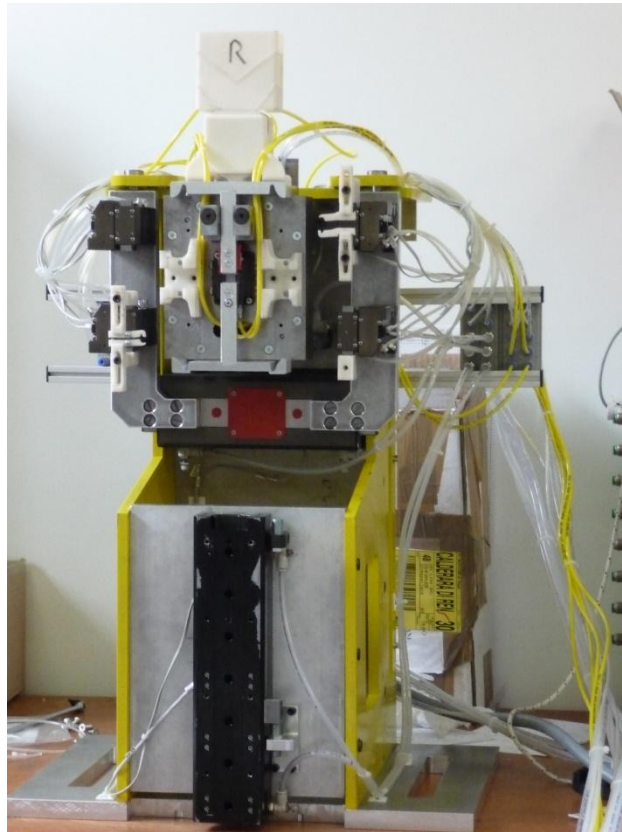
L'idea di base deriva da un'osservazione sperimentale effettuata direttamente durante l'assemblaggio manuale dei ganci: in particolare, si era notato che innestando i fermi con un determinato angolo di sfasamento rispetto al piano dei ganci, il movimento verticale –e dunque la traiettoria- variava solo di pochissimi millimetri. L'idea che ne è derivata era dunque quella di sviluppare un end effector in grado di mantenere questo angolo d'innesto con grande precisione, sopportando al contempo le piccole deformazioni elastiche che venivano a crearsi soprattutto durante la fase finale della traiettoria d'innesto. La disponibilità di una macchina per prototipazione rapida presso i laboratori dell'università, ha consentito l'immediata creazione di componenti di questo tipo sempre più complessi e performanti.



*Figura 51: Evoluzione del disegno dell'end effector: in alto a sinistra, il „dito“ in metallo previsto nel progetto di massima; alla sua destra, il prototipo, dotato di molla, in grado di adattarsi passivamente al profilo della traiettoria; in basso, a sinistra, la sua versione „compliant“, in ABS, con angolo di inserimento preimpostato. Infine l'evoluzione finale, con il „baffo elastico“ in grado di accompagnare completamente l'inserimento del fermo*

Con riferimento alla figura 51, il prototipo dotato di molle, ha permesso di verificare l'effettiva validità della soluzione “passiva”, fornendo fin da subito una grande quantità di dati interessanti, accompagnati da risultati estremamente incoraggianti.

La possibilità di sviluppare il medesimo concetto, per piccoli movimenti di flessione, sfruttando le proprietà di compliance offerte dalla tecnica di prototipazione rapida, ha dato luogo ad una versione in ABS del medesimo componente, nella quale l'angolo di inserimento del componente fosse già determinato a priori. Anche questo prototipo, costruito in molti esemplari testati fino alla rottura (figura 52), si è dimostrato molto promettente, ed ha evidenziato soltanto un comprensibile fenomeno di usura, dovuta essenzialmente ad una limitata elasticità generale, oltre che ad un innesto efficace ma ancora poco preciso.



*Figura 52: La macchina durante il testing degli end effector sperimentali*

La soluzione definitiva è stata ottenuta mediante l'introduzione di tre accorgimenti:

- Realizzazione di una struttura più elastica nei punti in cui è stato riscontrato il maggior numero di rotture in fase di test;
- L'introduzione di un fine corsa meccanico, in seguito realizzato mediante una vite di registro M3, che forza il fermo ad entrare nel gancio nel tratto terminale della traiettoria;
- L'inserimento di una sorta di estensione del tratto terminale dell'end effector superiore, denominata *baffo*, elastica ed in grado di accompagnare l'intera fase terminale di inserimento del fermo.

La figura 53 mostra la versione finale di questo prototipo, che ha garantito la ripetibilità del test oltre il limite di cicli misurabile in laboratorio, e che pertanto è stata battezzata come definitiva.



*Figura 53: L'end effector compliant, nella versione in ABS*

Sulla base del prototipo definitivo di figura 53, l'azienda GT-Line ha in seguito realizzato l'equivalente in resina satalica di cui alla figura 54, che costituisce un ottimo punto di partenza sul quale effettuare ulteriori affinamenti futuri.



*Figura 54: L'end effector in resina satalica sviluppato da GT-Line sulla base del prototipo in ABS*

#### ***4.1.1 Codice per il controllo del gruppo pinze:***

Al di là della geometria realizzativa, le 4 pinze a due assi e doppio effetto Gimatic pzx265, altro non sono che un insieme di due piccoli cilindri pneumatici, uno per ogni asse, ognuna delle quali richiede un parametro in ingresso dedicato che espliciti se la movimentazione richiesta è l'avanzamento o l'arretramento. A seconda del valore di tale parametro, nel

caso si voglia estendere il braccio, viene settata la variabile di uscita del controllore relativa all'elettrovalvola del relativo cilindro, mentre invece per l'arretramento dello stesso è sufficiente che la si resettì. Non appena i sensori rispettivamente di fine corsa aperto –nel caso sia richiesta l'estensione- o di fine corsa chiuso -se è richiesta la chiusura- si attivano, la routine si conclude con esito positivo. Per riscontrare un eventuale malfunzionamento, o fault, del dispositivo si sono invece considerati quattro ulteriori timer con funzione di *watch dog*: se, dal momento in cui si attiva o resetta l'elettrovalvola, non si attivano i rispettivi sensori entro le tempistiche impostate, il sistema considera il dispositivo in fault. In questo caso, il sottoprogramma viene prontamente terminato e, contemporaneamente, viene impostato a “vero” anche il merker di stato che indica il “fault” del dispositivo, che il main recepirà attivando di conseguenza l'idonea routine di gestione. In fase di test si è preferito considerare separatamente i quattro valori di TON, al fine di poter eventualmente agire sul singolo, aumentando le possibilità di riconoscimento dell'errore nel caso di sviluppi futuri. Le tempistiche impostate su ciascuno dei quattro TON corrispondono a due secondi cadauna.

## **4.2 *Tamburo rotante***

Più ancora del gruppo pinze, il tamburo rotante è sicuramente uno dei componenti più critici e delicati della macchina. Lo studio effettuato su di esso per migliorarne prestazioni e ripetibilità dei risultati ha richiesto moltissime ore di lavoro, e sostanziali sono state le modifiche ad esso apportate rispetto al prototipo iniziale. La filosofia costruttiva e la funzionalità di base sono rimaste pressochè invariate, ma il tipo di attuatore,

la struttura, la disposizione dei vani, il materiale stesso con cui è stato realizzato e tanti altri aspetti meccanici sono stati completamente rivisti ed ottimizzati.

Tutto questo è stato reso possibile grazie ad avanzati strumenti di grafica computerizzata (CAD) associati alla prototipazione rapida.

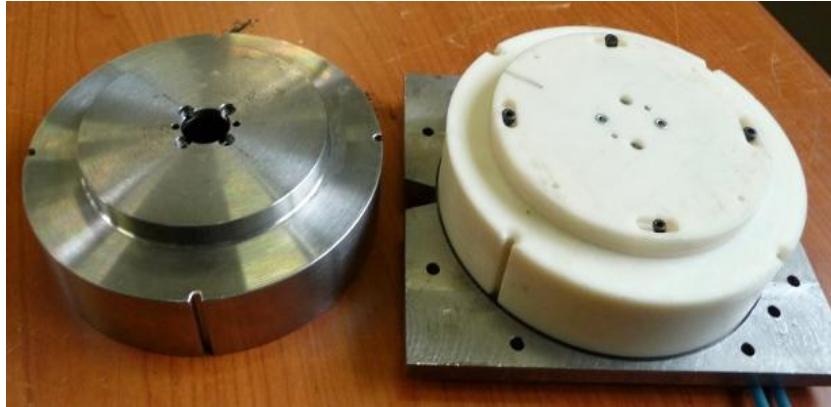
#### ***4.2.1 Modifiche meccaniche effettuate***

L'idea-base prevedeva il ricorso ad un tamburo monoblocco in metallo sulla cui corona esterna erano praticati quattro vani per l'alloggiamento di altrettante spine. L'attuatore utilizzato per la movimentazione era la tavola rotativa Gimatic itsc-164, in grado di effettuare una rotazione a passi di 90 gradi, per un totale di quattro per giro.

Le principali problematiche riscontrate utilizzando un sistema di questo tipo, successivamente risolte, sono state:

- la massa eccessiva del tamburo, costruito inizialmente in acciaio, che ne limitava fortemente la funzionalità a causa dell'eccessiva inerzia, in quanto la tavola rotante Gimatic difficilmente riusciva a movimentarlo;
- la velocità eccessiva di rotazione, che non consentiva il corretto allineamento della spina ai vani del tamburo;
- la tendenza della tavola rotante a “saltare” qualche passo e a non posizionarsi nel punto esatto di corrispondenza vano - foro;
- la presenza di fenomeni di impuntamento delle spine, con frequenza aleatoria;
- la mancanza della possibilità di effettuare una regolazione per arrivare

all'allineamento ottimale fra i vani del tamburo e i fori sul corpo entro cui è posizionato all'atto dell'installazione;



*Figura 55: Vista del primitivo tamburo in acciaio, sulla sinistra, e di quello in ABS, sulla destra, in seguito sostituito da una versione a 8 vani*

Il problema relativo all'inerzia eccessiva del tamburo iniziale è stato risolto semplicemente sostituendo il materiale con cui esso è stato originariamente fabbricato in favore del molto più leggero ABS, parimenti conforme alle specifiche di robustezza e rigidità richieste. L'utilizzo dell'ABS è risultato ancor più vantaggioso in quanto è stato così possibile realizzare i nuovi componenti tramite prototipazione rapida riducendo drasticamente i tempi di esecuzione, la precisione e la cura per i più piccoli dettagli.

Per permettere di regolare e allineare al meglio la posizione dei vani rispetto ai fori sulla piastra il progetto del tamburo è stato inoltre modificato passando da un unico componente monoblocco a due semiblocchi separati accoppiati tramite viti. Per quanto la lavorazione del componente risulti accurata, è altamente improbabile che i vani sulla corona del tamburo, una volta che questi è installato e fissato sopra la tavola rotante, risultino perfettamente allineati con i fori sulla piastra frontale attraverso cui le spine



devono passare per inserirsi nei ganci. Il tamburo viene dunque scomposto in due parti in cui la prima è costituita dalla sola corona circolare esterna e la seconda è formata dalla parte superiore di connessione con il pignone della tavola rotante come ben evidenziato in figura 56.



*Figura 56: Vista del tamburo in cui si distinguono chiaramente in arancio la corona circolare e, in bianco, la parte superiore di fissaggio sul pignone della tavola rotante*

La parte superiore è fissata al pignone della tavola rotante tramite quattro viti M3 e due “riferimenti” al fine di agevolare l’installazione. La possibilità di regolare la posizione relativa dei due componenti è realizzata tramite asole effettuate nella parte superiore al posto di singoli fori in cui le viti si inseriscono, come evidenziato in figura 57.



*Figura 57: Vista dell'asola effettuata sulla parte superiore del tamburo per permetterne la regolazione*

Detta scomposizione del tamburo in due componenti è risultata molto utile in quanto ha permesso di poter variare e riprogettare la sola corona circolare ove sono situati i vani, senza doverlo rigenerare interamente.

Un ulteriore grosso problema della tavola rotativa Gimatic itsc 164 è che essa non permette un'accurata regolazione della velocità di rotazione del tamburo. Poichè il tamburo inizialmente previsto prevedeva solamente quattro vani, il caricamento delle spine sarebbe dovuto avvenire 'al volo' durante la rotazione; inoltre, le posizioni di arresto coincidevano unicamente con quelle in cui sono presenti i fori per l'inserimento delle spine nei ganci, e non era previsto un arresto in concomitanza con la fase di caricamento della spina all'interno del vano del tamburo. La mancata possibilità di regolazione della velocità di rotazione è risultata un aspetto assai critico per il corretto funzionamento del sistema: le spine infatti si inserivano nei vani con estrema difficoltà poiché la velocità di rotazione risultava troppo elevata.

A tal proposito, si è sperimentata direttamente la riduzione della pressione di alimentazione della tavola rotante, ma il test non ha mostrato effetti risolutivi, in quanto non appena la pressione risultava sufficiente a vincere

l'attrito allo spunto, la velocità di rotazione rilevata era già eccessiva. Le soluzioni proposte in una prima fase sono state:

- l'utilizzo della tavola rotante Gimatic itsc 168, con 8 “scatti”, uno ogni 45°, in luogo della itsc 164;
- l'utilizzo di un attuatore elettrico che permettesse di regolare con precisione l'andamento della velocità di rotazione.

Per ragioni di non conformità con la specifica progettuale, che richiedeva di sfruttare il più possibile la disponibilità dell'aria compressa, e quindi per ragioni di costo, la scelta del motore elettrico è stata scartata in favore della sostituzione del tipo di attuatore rotante.

Come specificato, l'itsc 168 si differenzia dal precedente unicamente per il numero di passi compiuti per percorrere l'angolo giro. Se infatti l'itsc 164 effettua quattro rotazioni ciascuna di 90 gradi, il nuovo itsc 168 ne effettua otto da 45 gradi ciascuna. A causa di questa variazione, il tamburo ha dovuto subire modifiche radicali al fine di poter alloggiare otto spine. I relativi otto vani, risultano equidistanziati di 45 gradi uno dall'altro e, nonostante il loro raddoppio, il tamburo non è mai stato oggetto di alcun cedimento strutturale. Effettuare otto rotazioni di 45 gradi comporta l'arresto di un vano libero in coincidenza con la parte inferiore del caricatore per cui la spina ora viene correttamente caricata all'interno del vano. La velocità di rotazione non risulta più problematica in quanto ogni volta che si deve eseguire l'inserimento di una nuova spina in un vano del tamburo si ha che questo ora si arresta per un breve istante temporale.



*Figura 58: Vista del primo tamburo rotante in ABS, a soli 4 vani*



*Figura 59: Vista del nuovo tamburo a 8 vani*



*Figura 60: Vista del vano del tamburo, fermo in corrispondenza del caricatore*



*Figura 61: Vista del vano del tamburo in cui è appena stata inserita una spina*

La ricorrenza di un difetto riscontrato sull'allineamento fra i vani del tamburo e i fori sul piastra è stata poi notevolmente attenuata grazie all'inserimento di una coppia di valvole ad avviamento progressivo poste sul retro della macchina automatica. Nel caso questa problematica si ripresentasse, un ulteriore accorgimento da adottarsi potrebbe essere l'applicazione di una leggera forza frenante agente sul tamburo, ad esempio tramite l'inserimento di spazzole. L'attrito che viene a generarsi fra queste ultime e la corona interna del tamburo risulta sufficiente a rendere il sistema tavola rotante-tamburo notevolmente più affidabile. Le spazzole, nell'eventualità di un loro inserimento, potrebbero essere alloggiate all'interno della cavità del tamburo a fianco della tavola rotante in modo da non interferire con alcuna movimentazione della macchina e non rovinare, a causa dell'inevitabile leggera usura, la parte esterna della corona del tamburo dove sono presenti i vani per l'alloggiamento delle spine. Ulteriore vantaggio, ottenuto dall'inserimento della valvole ad avviamento progressivo, è risultato anche l'eliminazione del problema del primo scatto non ben controllato all'avvio della tavola rotante. Infatti, quando, durante il primo scatto dopo una ripartenza, non è presente aria compressa di contrasto nei due pistoncini interni all'attuatore pneumatico, non è garantita la corretta rotazione della tavola. Al fine di attenuare tale problema, senza incidere troppo sui costi, si è scelto di inserire le valvole ad avviamento progressivo unicamente sul circuito pneumatico della tavola rotante, e non sull'intero sistema, in modo tale da limitarne il dimensionamento e di conseguenza il costo visto le minori portate in gioco rispetto all'intero circuito della macchina automatica.



*Figura 62: Vista delle due valvole ad avviamento progressivo Camozzi MC 104-AV poste nel retro della macchina automatica*

Inoltre, per eliminare possibili impuntamenti delle spine durante la fase di rotazione, potendo così assicurare il caricamento di tutti i vani, si è eseguita un'asportazione di materiale nella piastra in concomitanza con la corona circolare del tamburo. La profondità della corona circolare risulta essere infatti della stessa misura della lunghezza delle spine ed inoltre il tamburo, una volta installato sulla piastra rotante, rasenta la piastra di supporto non lasciando spazi di sicurezza. Durante la rotazione le spine sono soggette a piccoli spostamenti dovuti alle loro inerzie e all'andamento a scatti della rotazione. In particolare, in occorrenza dei fori di inserimento delle spine nei ganci, se queste non risultano perfettamente all'interno del vano sono possibili impuntamenti. L'asportazione di materiale nella piastra in corrispondenza della corona circolare del tamburo di 2 millimetri di profondità è risultato già sufficiente a distanziare adeguatamente le spine dalla piastra scongiurando così eventuali impuntamenti indesiderati.





*Figura 63: Vista del solco realizzato sulla piastra frontale di supporto del tamburo per minimizzare l'impuntamento delle spine durante la rotazione*

Con l'introduzione di vari smussamenti, si è infine effettuata l'ultima modifica sul tamburo al fine di migliorare l'inserimento delle spine e delle protuberanze della piastra del cilindro di piantaggio delle stesse.

Le spine provenienti dal caricatore si inseriscono nei vani del tamburo sotto il solo effetto della forza di gravità: per favorirne la corretta introduzione sono stati arrotondati di alcuni decimi di millimetro tutti gli angoli vivi presenti ai bordi dei vani, come segnato in figura 64.

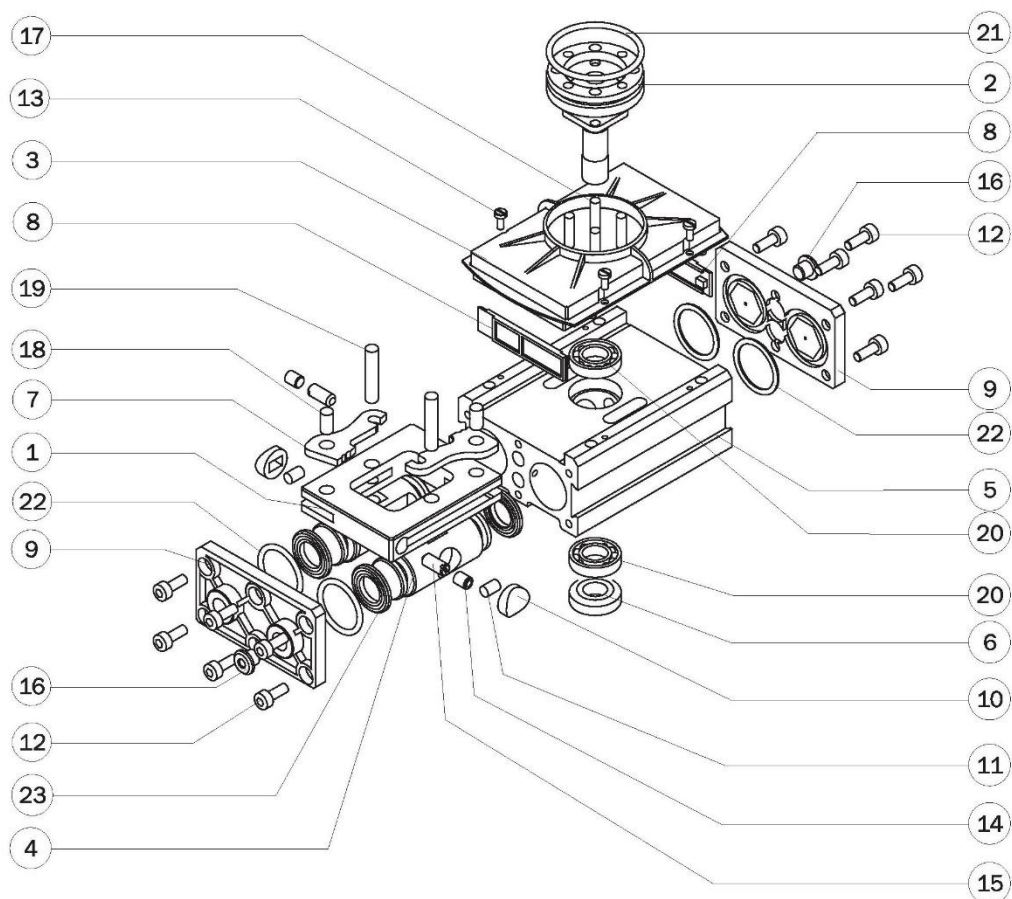




*Figura 64: Vista della prima versione del tamburo in cui è segnato in nero il bordo del vano su cui è stato eseguito lo smusso onde consentire un migliore inserimento delle spine*

Tuttavia, il problema più annoso che è stato riscontrato durante i tests, è stato quello relativo alla tendenza all'impuntamento dovuto alla presenza di un punto morto, caratteristica di ogni dispositivo a doppio cilindro.

A tal proposito, la figura 65 mostra la visione in esploso della tavola rotante Gimatic itsc 168, dalla quale è possibile comprendere immediatamente come esso sia costruito.



	ITSC-164	ITSC-164-A	ITSC-166	ITSC-166-A	ITSC-168	ITSC-168-A	
1- Cursore	ITS-164-1		ITS-166-1	ITS-166-1A	ITS-168-1	ITS-168-1A	Slider -1
2- Disco	ITSC-164-2		ITSC-166-2		ITSC-168-2		Disc -2
3- Copertura	ITSC-164-3		ITSC-164-3		ITSC-164-3		Closing plate -3
4- Pistone	ITSC-164-4		ITSC-164-4		ITSC-164-4		Piston -4
5- Corpo	ITSC-164-5		ITSC-164-5		ITSC-164-5		Housing -5
6- Ghiera	ITSC-164-6		ITSC-164-6		ITSC-164-6		Slotted round nut -6
7- Camma	ITS-164-6		ITS-166-2		ITS-168-2		Cam -7
8- Balestra			ITSC-164-10				Crossbow -8
9- Testata aperta			PE-1680-05A				Opened closing plate -9
10- Inserto portamagnete			PE-1610-05				Magnet housing -10
11- Magnete			PAR-06-7				Magnet -11
12- Vite			INOX A2 M3x8 mm DIN 912				Screw -12
13- Vite			INOX A2 M2x5 mm DIN 84A				Screw -13
14- Vite senza testa			M4x5 mm DIN 913				Grub screw -14
15- Grano a sfera			M4 DIN 267				Spring plunger -15
16- Tappo			107-M5				Plug -16
17- Spina di riferimento			Ø3x12 mm DIN 6325				Dowel pin -17
18- Spina di riferimento			Ø4x8 mm DIN 6325				Dowel pin -18
19- Spina di riferimento			Ø4x20 mm DIN 6325				Dowel pin -19
20- Cuscinetto radiale			8x16x4				Ball bearing -20
21- Anello di tenuta O-RING			Ø1.78x23.52 (GUAR-008)				O-RING gasket -21
22- Anello di tenuta O-RING			Ø1.78x15.60 (GUAR-023)				O-RING gasket -22
23- Guarnizione dinamica			16x9x2.5 (GUAR-002P)				Dynamic gasket -23

Figura 65: Vista in esploso della tavola rotante Gimatic itsc 168

In questo senso, la presenza di un punto morto nel moto di rotazione dell'attuatore pneumatico rotativo rimane ad oggi l'unico problema non

risolto compatibile con un eventuale blocco del tamburo.

Qualora i pistoncini interni alla tavola rotante, visibili in figura 66, si trovassero, in condizioni di quiete, esattamente a metà della loro corsa nell'istante in cui l'attuatore viene alimentato, condizione che può verificarsi ad esempio a seguito di una riaccensione della macchina automatica, questi si ritroverebbero in una situazione di stallo in cui nessuna delle due metà della camera ha la prevalenza sull'altra. La naturale conseguenza è che l'attuatore non è in grado di uscire autonomamente da questa configurazione di singolarità, ed il tamburo di fatto risulta bloccato.

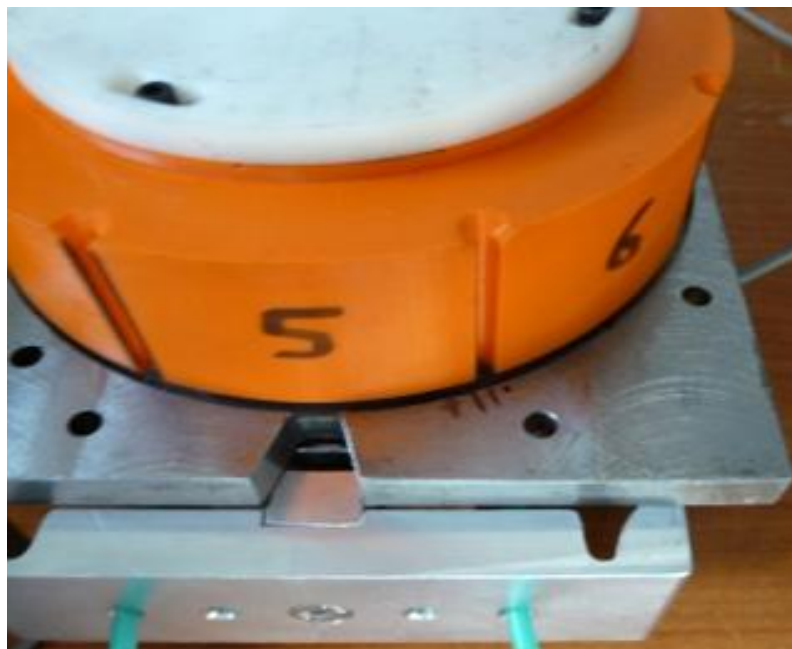


*Figura 66: Vista dei due pistoncini e delle camere interni alla tavola rotante*

*Gimatic itsc 168*

Misurata sul tamburo rotante, il punto morto dei pistoncini all'interno della camera interna corrisponde ad una posizione angolare relativa di 22,5 gradi dei vani rispetto ai fori. In queste condizioni, l'unico modo per sbloccare il tamburo, se dovesse verificarsi tale coincidenza, è quello di farlo roteare manualmente di qualche grado al fine di permettere all'attuatore di uscire dalla fase di stallo dovuta al perfetto equilibrio fra le pressioni presenti nelle due metà della camera interna. Lo sforzo da compiersi sarebbe minimo, in

quanto appena si scompensa l'equilibrio interno e una delle due metà ha la prevalenza sull'altra, avviene lo scatto di rotazione di 45 gradi e non risulta conveniente procedere alla progettazione e realizzazione di un sistema automatico in grado di sbloccare il sistema nel caso si verifichi questa situazione, data la sua estrema infrequenza. Vi è infatti da sottolineare come questo stato non sia raggiungibile autonomamente una volta che la tavola rotante ha iniziato a funzionare correttamente: il problema potrebbe presentarsi unicamente dopo una manutenzione non attenta. Fortunatamente la posizione in cui si ha lo stallo è contraddistinta da una certa precisione necessaria attorno ai 22,5 gradi relativi.



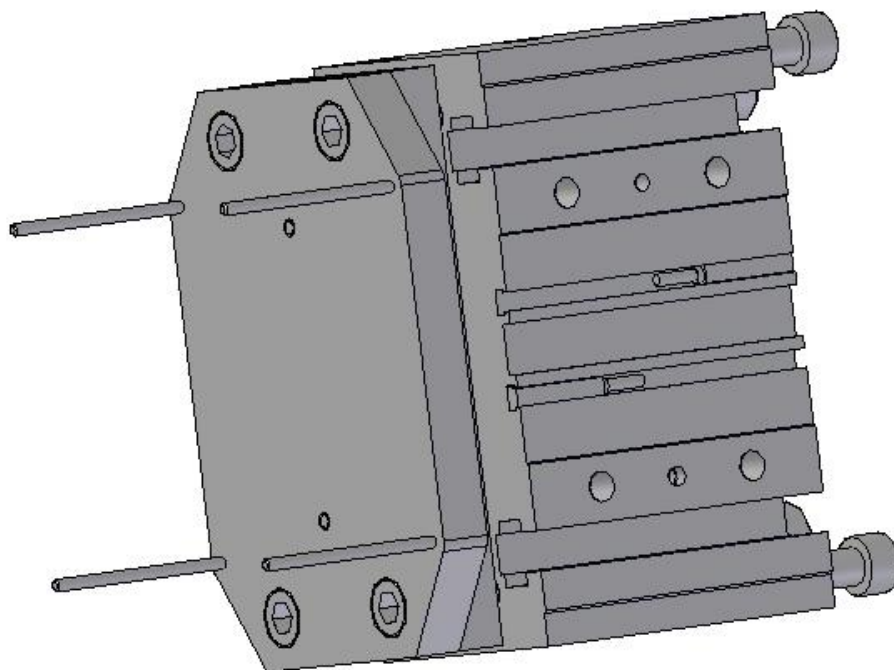
*Figura 67: Vista del tamburo nel suo punto morto*

#### ***4.2.2 Codice per il controllo dell'attuatore rotante***

Il controllo dell'attuatore rotante è solo lievemente più complesso rispetto a quello del caso precedente: per ogni inversione del flusso d'aria compressa ai raccordi di alimentazione, la tavola rotante Gimatic itsc 168 effettua una rotazione di 45 gradi. Poiché le elettrovalvole installate sono monostabili, è quindi sufficiente che avvenga un semplice cambio di stato per costringere la relativa elettrovalvola ad effettuare un singolo scatto. Il sottoprogramma di gestione dell'attuatore perciò, quando richiamato, ha soltanto il compito di settare o resettare la variabile di uscita corrispondente all'elettrovalvola del tamburo a seconda che questa in precedenza fosse falsa o vera. La prima operazione compiuta dal sottoprogramma sarà pertanto quella di leggere lo stato della variabile di controllo della tavola rotante e, successivamente, di invertirlo. Una volta sovrascritta la variabile di uscita col valore duale al precedente, viene attivato un temporizzatore settato a 1 secondo che costituisce il *watch dog timer* per l'avvenuta rotazione del tamburo. Non essendo previsto alcun sensore di feedback specifico per la rilevazione dei fault, scaduto il tempo di attesa, la routine viene conclusa.

#### ***4.3 Gruppo inserimento spine***

Il gruppo di inserimento-spine è composto essenzialmente dal cilindro pneumatico Pneumax 6100.63.50.c, alla cui estremità è fissata una piastra dalla quale fuoriescono quattro sottili corpi di spinta cilindrici che vanno ad inserirsi all'interno dei vani del tamburo per permettere l'introduzione delle spine nei relativi ganci. In questo senso, la figura 68 fornisce una visione quanto mai esaustiva dell'intero gruppo.

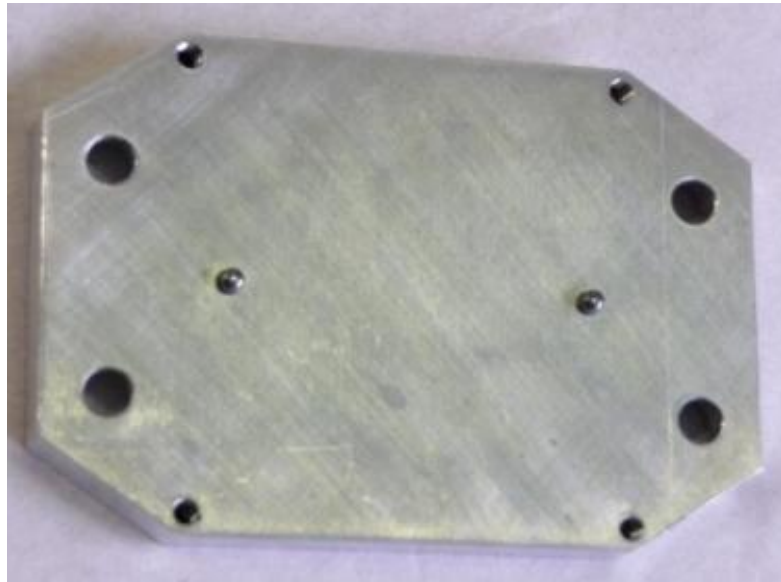


*Figura 68: Vista del cilindro pneumatico e della piastra con i corpi cilindrici di spinta per inserire le spine*

#### **4.3.1 Modifiche meccaniche**

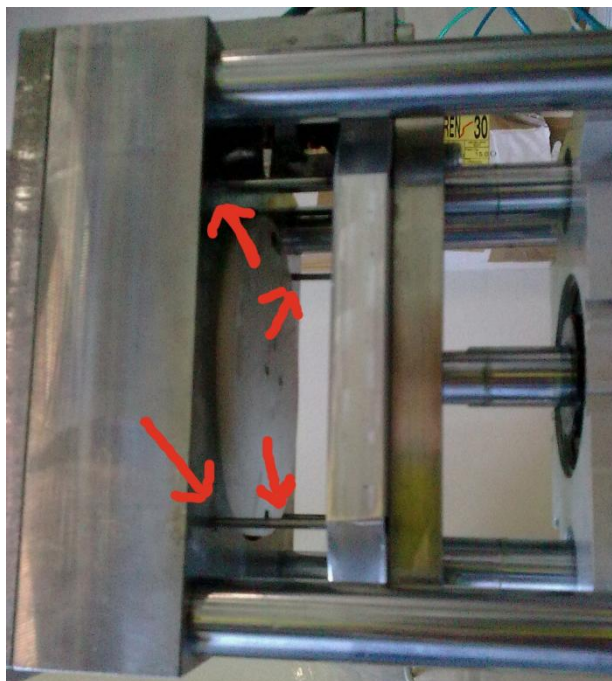
Come conseguenza delle modifiche effettuate al tamburo, passato da 4 a 8 vani, si è dovuto procedere a un riadattamento della piastra frontale di inserimento, rivedendo la posizione dei 4 corpi di spinta cilindrici, la cui geometria di dislocazione sulla piastra è infatti variata da rettangolare a quadrata, onde per cui è stato necessario realizzarne una nuova con le nuove misure di 97,2 mm per lato. Poiché durante la fase di test si sono riscontrati problemi di allineamento, si è inoltre pensato di non fissare rigidamente la piastra frontale al cilindro, ma di lasciare alcuni decimi di mm di gioco nell'intorno dei corpi cilindrici, in modo tale che la fase di inserimento dei corpi cilindrici nel tamburo possa consentire piccoli spostamenti

longitudinali. Poiché la forza di spinta del cilindro viene applicata esclusivamente lungo l'asse perpendicolare a tale piastra, tali movimenti trasversali non sembrano avere ripercussioni negative a lungo termine sul corretto funzionamento dell'apparato.



*Figura 69: Vista della nuova piastra frontale: si notino i quattro fori più piccoli esterni nei quali vanno ad inserirsi i cilindretti spingi-spine, ed i quattro fori più grandi che permettono il fissaggio al cilindro pneumatico*





*Figura 70: Vista del cilindro e della piastra frontale mentre i cilindri di spinta vanno ad inserirsi nei vani del tamburo per spingere le spine all'interno dei ganci. I punti di inserimento sono evidenziati in rosso.*

#### ***4.3.2 Codice di controllo del cilindro pneumatico***

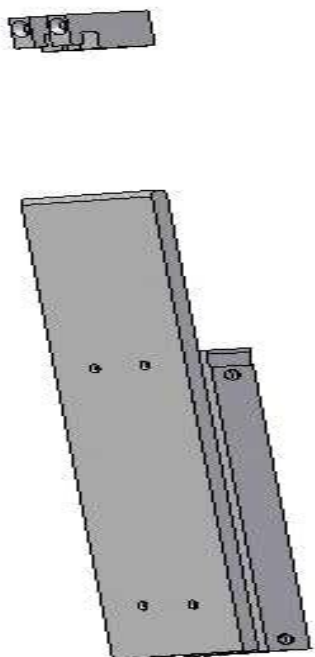
Il sottoprogramma di gestione del cilindro Pneumax 6100.63.50, richiede un parametro in ingresso dedicato che espliciti se la movimentazione richiesta è l'avanzamento o l'arretramento. A seconda del valore di tale parametro, nel caso si voglia estendere il cilindro, viene settata la variabile di uscita del controllore relativa all'elettrovalvola del cilindro, mentre invece per l'arretramento dello stesso è sufficiente che la si resettì. Non appena i sensori rispettivamente di fine corsa aperto –nel caso sia richiesta l'estensione- o di fine corsa chiuso -se è richiesta la chiusura- si attivano, la routine si conclude con esito positivo. Per riscontrare un eventuale malfunzionamento, o fault,



del dispositivo si sono invece considerati due ulteriori timer con funzione di *watch dog*: se, dal momento in cui si attiva o resetta l'elettrovalvola, non si attivano i rispettivi sensori entro le tempistiche impostate, il sistema considera il dispositivo in fault. In questo caso, il sottoprogramma viene prontamente terminato e, contemporaneamente, viene impostato a “vero” anche il merker di stato che indica il “fault” del dispositivo, che il main recepirà attivando di conseguenza l'idonea routine di gestione. Nonostante le tempistiche impostate su ciascuno dei due TON siano le medesime e corrispondenti a due secondi, in fase di test si è preferito considerarne due separati al fine di poter eventualmente agire su uno solo, aumentando le possibilità di riconoscimento dell'errore nel caso di sviluppi futuri.

#### ***4.4 Gruppo di contrasto frontale***

Costituito dalla slitta Gimatic ZA 20150 e da una piastra di acciaio ad essa fissata tramite viti, il gruppo di contrasto frontale è funzionale al corretto assemblaggio di ogni maniglia. La piastra va ad impegnarsi in un fine corsa solidale alla parte frontale della macchina, in modo che durante la fase di spinta del cilindro, l'azione della spinta non si riversi esclusivamente sulla slitta Gimatic.



*Figura 71: Vista del disegno iniziale del gruppo di contrasto frontale in cui è presente la slitta Gimatic, la piastra frontale di fermo e il fine corsa superiore*

#### ***4.4.1 Gruppo di contrasto frontale: modifiche apportate***

Sebbene non siano state radicali, le modifiche apportate a questo sistema sono comunque risultate molteplici.

I problemi più notevoli che si siano riscontrati sono stati i seguenti:

- la piastra frontale risultava non correttamente dimensionata per impegnarsi meccanicamente nel relativo supporto di fine corsa;
- la slitta Gimatic non si installava a bordo macchina a causa del fermo di fine corsa non previsto sul disegno del progetto iniziale;
- la piastra frontale risultava non allineata con il fermo di fine corsa posto sulla parte superiore della macchina automatica.

Per ovviare al problema del mancato raggiungimento del fine corsa superiore si è semplicemente ricorso allo spostamento dei fori di attacco fra la piastra e la slitta in modo da guadagnare i centimetri necessari. Lo scopo della slitta è porre resistenza alla forza di spinta del cilindro durante la fase di piantaggio delle spine per cui la sua funzione è svolta unicamente nella parte superiore della macchina automatica. Questa traslazione della slitta verso l'alto di pochi centimetri non ha comportato dunque nessuna perdita di funzionalità permettendo viceversa di raggiungere il blocchetto di fine corsa superiore.



*Figura 72: Particolare della piastra: si notino il vecchio foro, in alto, ed il nuovo foro con la vite inserita, in basso*

Per installare la slitta nonostante la presenza del fermo di fine corsa meccanico inferiore si invece dovette ricorrere ad una radicale rivisitazione del disegno. Il sistema originale presupponeva infatti di avere spazio nella parte inferiore, come evidenziato nella figura 73, spazio non disponibile nel luogo ove doveva essere installata detta slitta.



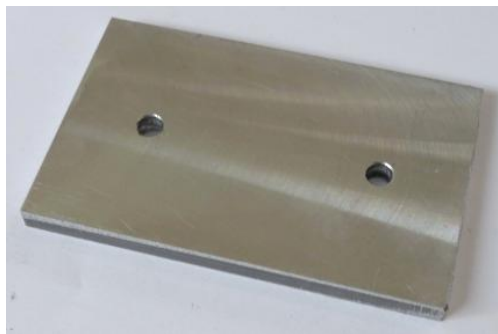
*Figura 73: Slitta Gimatic Za20150 in cui si vede l'elevata estensione nella parte inferiore del fermo di fine corsa*

Si è quindi disegnato e realizzato un supporto a “T” da fissare lateralmente alla piastra frontale del telaio tramite viti M3, adiacente a dove si trova situata la slitta Gimatic. Il nuovo supporto è inoltre forato nella parte uscente per permettere il settaggio, con annesso ammortizzatore in gomma, come raffigurato in figura 74.



*Figura 74: Vista in primo piano del nuovo sistema di fissaggio del fermo di fine corsa inferiore della slitta perfettamente compatibile con l'ammortizzatore in gomma previsto*

Il problematico allineamento rispetto al blocco di fine corsa superiore è stato risolto con estrema semplicità, semplicemente inserendo degli spessori formati da due piastrine di spessore quattro millimetri fra la slitta e la piastra di fermo così da distanziarla quel tanto che bastava per il corretto inserimento nell'alloggiamento superiore.



*Figura 75: Vista di una delle due piastrine usate come distanziali tra slitta e piastra frontale di contrasto*

Sono altresì state effettuate ulteriori lavorazioni alla piastra frontale allo scopo di favorirne l'inserimento nel blocco di riscontro superiore e per evitare possibili interferenze della piastra stessa durante la fase di caricamento o estrazione dei ganci. Nella sola zona di impegno con il supporto superiore è stato praticato uno smussamento nella piastra così da guidarla più agevolmente nella fase ultima di salita e inserimento nell'alveo del blocchetto di fermo superiore. L'intaglio effettuato, della profondità massima di tre millimetri, coinvolge unicamente la parte centrale per l'intera e sola lunghezza del riscontro superiore come si può vedere dalla figura 76.



*Figura 76: Vista dell'intaglio effettuato sulla parte superiore della piastra di contrasto frontale per agevolare l'inserimento nel fermo di riscontro superiore*

Questo aspetto è importante perché così facendo la funzione di contrasto delle spinte subite dai ganci per effetto dell'inserimento delle spine non viene meno. La zona in cui la piastra svolge il ruolo di fermo per i ganci nella parte superiore è infatti unicamente ai bordi per cui la lavorazione effettuata nella

zona centrale non ne inficia la funzionalità. In seguito allo spostamento verso l'alto della piastra rispetto alla posizione inizialmente prevista, descritto in precedenza per ovviare ad uno dei problemi riscontrati, si è ottenuto però pure l'avvicinamento della parte superiore della stessa al gruppo di bloccaggio dei ganci anche quando questa risulta abbassata. Per evitare eventuali possibili interferenze durante la fase di introduzione o estrazione dei ganci da parte del robot si sono praticati due fori sulla piastra in corrispondenza delle estremità dei ganci. Di nuovo i fori effettuati, del diametro di tre millimetri, sono in una posizione tale da non inficiare la funzionalità di resistenza alle spinte che i ganci subiscono durante l'inserimento delle spine.



*Figura 77: Vista dei fori effettuati sulla parte superiore della slitta di contrasto per favorire l'ingresso e la fuoriuscita dei ganci*

Un'ultima lavorazione effettuata sul gruppo di contrasto frontale risulta essere l'esecuzione di un foro filettato nel blocchetto di riscontro superiore.

La posizione in cui esso è fissato nella macchina automatica coincide infatti esattamente con la parte esteriore del luogo in cui le spine scendono dal caricatore per inserirsi nei vani impedendone l'accesso e la visuale dall'esterno. Il foro è praticato nell'eventualità di inserire un ulteriore sensore di prossimità per rilevare la presenza della spina all'interno del vano del tamburo all'atto dell'inserimento. I casi per cui la spina potrebbe risultare assente sono:

- l'assenza di spine all'interno del caricatore;
- un inceppamento del caricatore, in ogni caso scongiurato dalle movimentazioni di apertura e chiusura della pinza che agisce su di esso per aprire e chiudere il vano di scarico inferiore;



*Figura 78: Vista del blocchetto di fermo superiore in cui sono presenti, lateralmente, i due fori di fissaggio ed il nuovo foro filettato centralmente che consente l'inserimento di un eventuale sensore, per sviluppi futuri*



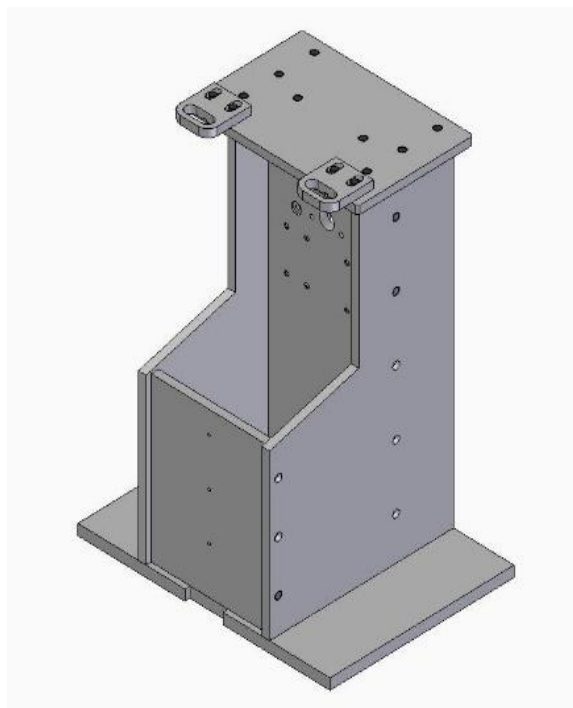
#### ***4.4.2 Controllo dell'attuatore: codice software***

Trattandosi a tutti gli effetti di un cilindro, la slitta Gimatic ZA 20150 è controllata da un codice del tutto equivalente a quello visto per il cilindro pneumatico di inserimento delle spine: un parametro in ingresso al sottoprogramma distingue se l'azione richiesta sia estendere o retrarre la slitta, e in base a tale valore viene attivata o resettata la rispettiva variabile di uscita di controllo dell'elettrovalvola. Tramite l'attivazione del corrispondente sensore di fine corsa si considera l'operazione conclusa e la routine termina con esito positivo. Sono di nuovo previsti due temporizzatori TON con lo scopo di rilevare l'eventuale fault dell'attuatore o di un sensore. Se entro le tempistiche impostate, dal momento in cui la movimentazione è iniziata non si attiva, il sensore di fine corsa corrispondente il sottoprogramma termina prontamente settando a vero il merker di stato di fault della slitta di contrasto frontale. Le tempistiche impostate per rilevare l'eventuale malfunzionamento in fase di salita o discesa risultano le medesime, impostate attualmente a due secondi. Si è ancora preferito considerare due temporizzatori diversi per lasciare la possibilità eventuale in futuro di variare la sensibilità di riconoscimento del fault a seconda che si tratti di avanzamento o ritorno in posizione di home della slitta.

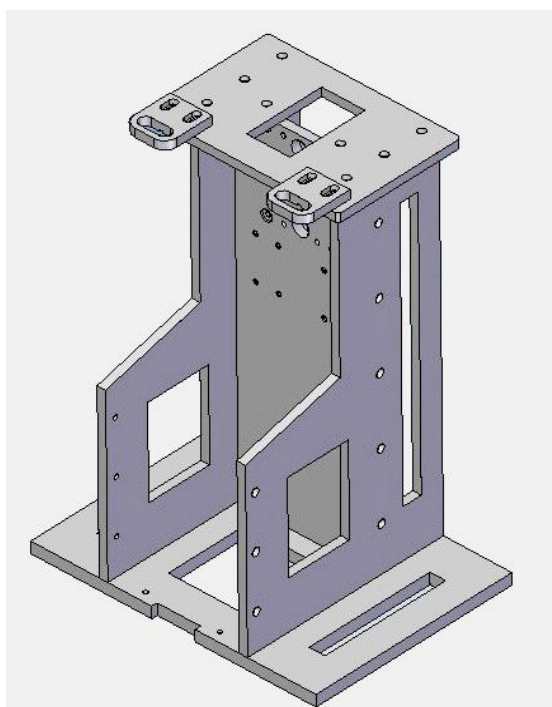
#### ***4.5 Telaio***

Rispetto al disegno originale, il telaio della macchina è stato modificato al fine di permettere l'accesso ad un operatore nella parte interna della macchina anche in presenza del gruppo pinze installato, oltre che per alleggerire e renderne più facilmente “manipolabile” la struttura. In fase

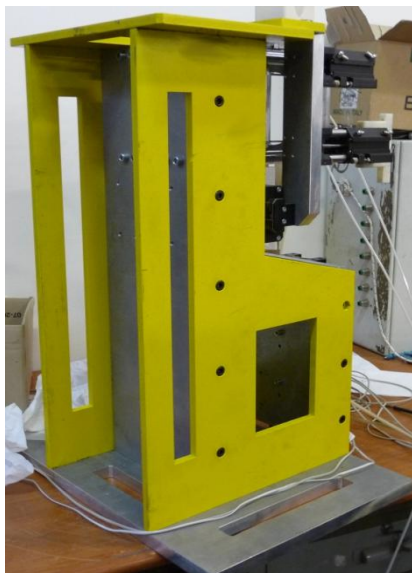
progettuale, per questa struttura era inoltre previsto l'utilizzo dell'alluminio, ma durante la fase realizzativa ci si è ritrovati costretti ad optare per l'acciaio nelle fiancate e nella parte superiore. Per evitare di appesantire la macchina inutilmente pur mantenendo la necessaria rigidità meccanica, sono stati inoltre effettuati dei fori di alleggerimento, che sono risultati fondamentali, come predetto, anche per poter accedere alla parte interna della macchina automatica da parte di un operatore. La parte frontale è infatti interamente occupata dal gruppo piana spine e dal gruppo pinze di inserimento dei fermi, e per effettuare operazioni di taratura, riposizionamento o eventuale sostituzione di un sensore magnetico, detti spazi risultano fondamentali. In ultimo, da non sottovalutare, vi è anche l'aspetto della possibilità di trasportare più agevolmente la macchina in quanto sono presenti più punti di attacco su cui è possibile fissare le funi per il sollevamento della stessa.



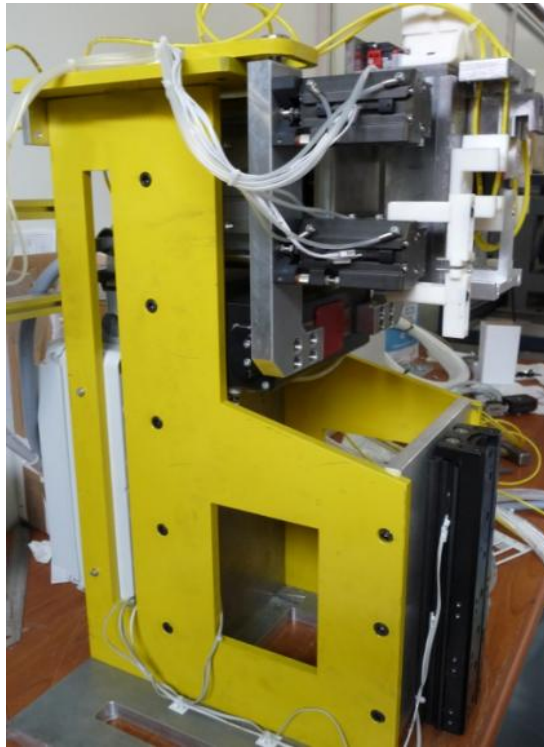
*Figura 79: Disegno del telaio secondo il progetto di massima*



*Figura 80: Disegno CAD del nuovo telaio*



*Figura 81: Vista del telaio nudo*



*Figura 82: Vista del telaio da una seconda angolazione, durante il testing degli end effector sperimentali*



## 5. Conclusioni

Pur con l'applicazione di molteplici modifiche, lo studio eseguito ha dimostrato la piena validità del progetto iniziale. Alla consegna, la macchina automatica realizzata si è confermata infatti in grado di assemblare correttamente i ganci nelle tempistiche richieste e nel pieno rispetto di tutte le specifiche inizialmente imposte, con ampi margini di miglioramento prestazionale. Dall'idea di base, si è così potuti passare alla realizzazione vera e propria della macchina automatica, apportando le necessarie modifiche e testando di volta in volta il livello prestazionale raggiunto. Le modifiche effettuate si sono dimostrate assolutamente necessarie in seguito alle verifiche delle reali funzionalità e caratteristiche dei vari attuatori commerciali utilizzati.

I test prestazionali effettuati sulla macchina automatica hanno evidenziato una moltitudine di punti che, a fronte di un ulteriore investimento economicamente minimo, potrebbero permettere un sensibile incremento delle prestazioni velocistiche, di ripetibilità e della sicurezza della macchina.

In particolare, si è potuto rilevare che, già in questo step:

- l'assemblaggio dei ganci avviene in modo preciso, ripetibile e pienamente conforme agli standard di qualità del prodotto;
- le tempistiche risultano ampiamente rispettate: a fronte dei 50 secondi massimi richiesti, la macchina è in grado di assemblare 4 ganci entro un tempo massimo non superiore a 25 secondi.

Il lavoro svolto, va sottolineato, deve in ogni caso essere interpretato come uno dei primi passi verso lo sviluppo della macchina automatica nella sua

totalità. Gli obiettivi raggiunti sono stati l'implementazione della macchina nel suo complesso seguita dalla verifica delle funzionalità e delle specifiche. Alcuni dettagli però, in particolare relativi al suo interfacciamento con la zona lavorativa in cui essa si ritroverà ad operare presso lo stabilimento produttivo della GT Line, rimangono al momento ancora da implementare. In quest' ottica, ad esempio, si sottolinea la necessità di meglio definire le comunicazioni e la tipologia dei segnali che intercorrono fra il microcontrollore di gestione della macchina automatica e il robot cartesiano dedicato al posizionamento e prelievo dei ganci e dei fermi. Durante l'intera fase di implementazione della macchina automatica, si è posto maggior risalto alla verifica del raggiungimento delle prestazioni minime garantite in condizioni di elevata ripetibilità, rispetto al raggiungimento delle prestazioni massime possibili. In tal senso, in condizioni tali da soddisfare ampiamente tutte le specifiche, i maggiori sforzi sono stati spesi nel raggiungere la più elevata ripetibilità delle operazioni di montaggio.

La qualità dei ganci montati finiti è inoltre del tutto paragonabile a quella ottenuta attraverso la lavorazione manuale: i fermi risultano ben posizionati all'interno dei ganci e le spine ben inserite nei vani, senza sporgenze rispetto al corpo del gancio. Inoltre, grazie ai diversi settaggi effettuabili sui componenti, è possibile ottenere un prodotto finito pienamente rispondente alle caratteristiche di qualità richieste anche nel caso, in futuro, dovesse essere variata la geometria del gancio.

La semplicità di utilizzo e l'affidabilità della macchina automatica sono sempre stati aspetti su cui si è incentrato l'intero lavoro anche a costo di penalizzare leggermente le prestazioni massime raggiungibili in termini di velocità di montaggio dei ganci senza però per questo mai venire meno rispetto alla qualità del gancio assemblato.

Dal punto di vista didattico, oltre che enormemente interessante, l'esperienza

svolta è risultata molto utile sia per via della sua intrinseca multidisciplinarietà, sia per l'estrema somiglianza con le reali problematiche effettivamente riscontrabili sul mondo del lavoro.

L'aspetto multidisciplinare, in particolare, è risultato una vera e propria sintesi del percorso di studi effettuato. Gli ambiti trattati sono spaziati dalla pneumatica, alla costruzione di macchine, alla teoria sui controlli automatici, passando dall'informatica, all'elettronica fino al disegno meccanico: non è mancata nemmeno la statistica, legata al cosiddetto “controllo qualità”, ricoprendo perciò un ampio spettro d'insegnamenti ricevuti in questi anni di studi.

Infine, non ultimo, l'approccio al mondo del lavoro, reso possibile grazie alla grande disponibilità di GT Line è stata una valida motivazione aggiuntiva per il più completo raggiungimento di tutte le aspettative.





## 6. Bibliografia

- Stuart Clark, *Quality Management System/Technical Area Co-ordinator*, DNV Certification Central & Sothern Europe, 23 marzo 2006
- Marco Ferrara, *Notizie Assofluid*, Rivista “Oleodinamica e Pneumatica”, Febbraio 2013
- J. Froomkin, A. J. Jaffe, *Technology and jobs-Automation in perspective*, Frederick Praeger, New York, 1968
- Assofluid: *Norme UNI relative ai settori oleoidraulico e pneumatico*
- Norma UNI EN ISO 9001
- Norme EN ISO 13849-1 e ISO 19973 in merito di sicurezza ed affidabilità in pneumatica
- Sito web Camozzi S.p.a., <http://www.camozzi.it/>
- Sito web CEI, <http://www.ceiuni.it/>
- Sito web CENELEC, <http://www.cenelec.org/Cenelec/Homepage.htm>
- Sito web Festo AG & Co., <http://www.festo.com/>
- Sito web Gimatic S.r.l., <http://www.gimatic.com/it>
- Sito web GT-Line S.r.l. , <http://www.gtline.com/>
- Sito web ISO, <http://www.ISO.org/ISO/EN/ISOonline.frontpage>
- Sito web Pneumax S.p.a., <http://www.pneumaxspa.com/>
- Sito web Siemens S.p.a., <http://www.siemens.com/>
- Sito web UNI, <http://www.uni.com/it/>



## 7. Ringraziamenti

*Desidero ricordare tutti coloro che mi hanno aiutato nella stesura di questo elaborato con suggerimenti, critiche ed osservazioni: a loro va la mia gratitudine, anche se a me spetta la responsabilità per ogni errore ivi contenuto.*

*Ringrazio anzitutto il Professor Giovanni Naldi, Relatore di questa tesi, per la grandissima disponibilità nonché l'interesse riposto nei confronti del progetto.*

*Doverosissimo un ringraziamento al Prof. Gabriele Vassura, Correlatore del presente lavoro nonché ideatore del progetto di massima della macchina automatica, per la pazienza, la fiducia e per i mezzi messi a totale disposizione durante tutte le fasi di questo lungo ma interessantissimo lavoro.*

*Si ringrazia altresì l'ing. Massimiliano Ravagnani, secondo correlatore, in primis per l'assistenza offerta dinnanzi ai problemi riscontrati, ed in secondo luogo per l'opportunità offertami nel mostrare una realtà industriale quale è la GT Line S.r.l. .*

*Proseguo con il personale del laboratorio del DIN di Via Terracini per la costante presenza e per il supporto continuo.*

*Desidero, soprattutto, ricordare la mia famiglia, cui questo lavoro è dedicato, per l'insostituibile supporto fornitomi.*